

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

**Disseny, anàlisi i fabricació d'uns esquís de
muntanya**

MEMÒRIA

Autor: Adrià Gustems Fusté i Jaume Serramalera Guerin
Director: Emilio Angulo
Convocatòria: Gener 2018



**Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona**



1 ABSTRACT

This project's goal is to design and build a pair of mountain skis through a completely artisanal process, that means without any kind of industrial machines assistance.

The design will be based on the geometrical characteristics of an already existing model while trying to reach the mechanical performance of a modern industrially manufactured ski.

This second goal's level of compliance will be reached with a comparative study analysis between the mechanical performance of a regular ski, present in the modern market, and the mechanical performance of the prototype. That study will be based on a flexion test of both skis on one hand, and in a simulation of the same test through the finite elements method, on the other hand. In order to know how would be its behavior before being built, the simulation will be carried on only upon the manufactured prototype.

Lastly, we aim to provide an overview about the skis manufacturing process, both industrially and handcrafted that are being used nowadays and describe in detail the manufacturing process that we used to obtain our own prototype.

Índex

1	ABSTRACT	3
2	OBJECTE	6
3	ABAST	7
4	JUSTIFICACIÓ	8
5	ANÀLISI DE L'ESTAT DE L'ART	9
5.1	Una breu ullada a la historia	9
5.2	Característiques i propietats de disseny d'un esquí	10
5.2.1	Paràmetres geomètrics del disseny	10
5.2.2	Propietats mecàniques i tècniques	13
5.3	Modalitats	14
5.3.1	Esquí alpí	15
5.3.2	Esquí de fons	16
5.3.3	Esquí de travessa o de muntanya	17
5.3.4	Esquí freestyle	18
5.3.5	Esquí freeride	19
5.4	Processos de fabricació	20
5.4.1	Etapes comuns en els processos de fabricació industrials i artesanals	20
a)	Disseny de l'esquí	20
a)	Materials i parts de l'esquí	22
5.4.2	Etapes pròpies dels processos de fabricació artesans	25
a)	Motlle artesà	25
b)	Procés d'acoblament	28
c)	Sistema de premsa	34
d)	Acabat i serigrafia	37
5.4.3	Etapes pròpies dels processos de fabricació industrials	37
6	DESENVOLUPAMENT DEL PROTOTIP	40
6.1	Especificacions del prototip	40
6.1.1	Esquí de referència	40
a)	Modalitat d'esquí	40
b)	Nivell tècnic	41
c)	Físic	41
6.1.2	Elecció del model de l'esquí de referència:	41
6.2	Selecció i justificació del mètode de fabricació	44
6.2.1	Disseny de l'esquí	44
6.2.2	Fabricació motlle	46
6.2.3	Construcció nucli de fusta	47

	5
6.2.4 Sistema de premsa	49
6.2.5 Procés d'acoblament	51
6.2.6 Acabat	58
6.2.7 Inventari d'eines i materials	59
7 ESTUDI I ANÀLISI COMPARATIU DEL COMPORTAMENT MECÀNIC	60
7.1 Assaig virtual amb elements finits	60
7.2 Assaig real amb esquís de prova	64
a) Objectiu	64
b) Preparació de l'assaig	64
c) Condicions de l'assaig	66
d) Resultats	66
7.3 Assaig al laboratori del prototip	68
7.4 Conclusions de l'anàlisi comparatiu	68
8 PRESSUPOST	70
9 IMPACTE AMBIENTAL	71
10 PLANIFICACIÓ	72
11 CONCLUSIONS	73
12 BIBLIOGRAFIA	75

2 OBJECTE

L'objectiu d'aquest projecte és construir, de forma artesana, un prototip d'uns esquís de muntanya amb les característiques tant geomètriques com mecàniques més semblants a les dels exemplars, fabricats industrialment, presents actualment al mercat.

D'altra banda, per tal de mesurar en quin nivell s'ha assolit l'objectiu principal, es realitzarà un estudi del comportament mecànic del prototip mitjançant el mètode dels elements finits, així com un assaig a flexió tant del prototip com d'un exemplar confeccionat industrialment, seguit d'un anàlisi comparatiu dels resultats obtinguts.

Prèviament a la consecució de la principal raó de ser del projecte, s'aspira i és de vital necessitat, estudiar, assimilar i reflectir en aquest redactat les metodologies emprades actualment per a la fabricació, especialment artesanal, però també industrial, d'uns esquís destinats a optimitzar la pràctica de l'esquí de muntanya.

Així mateix, s'espera determinar el procés de fabricació artesanal òptim en termes de resultats obtinguts però també de velocitat i comoditat de fabricació. Degut a l'escassetat de recursos de què es disposa, també es tindrà en gran consideració la minimització dels costos de fabricació i seguint en la línia de determinar les diferències entre la manufactura i la fabricació industrial d'esquís, es compararà aquest cost amb el d'un exemplar equivalent present al mercat actual.

Finalment, amb aquest projecte, es pretén descriure de forma detallada els passos a seguir per a la fabricació d'uns esquís de forma completament casolana, amb qualsevol disseny geomètric desitjat i amb un nivell de prestacions mecàniques propi d'un esquí industrial.

3 ABAST

Donat que, tal i com s'ha esmentat, l'objectiu d'aquest projecte implica l'obtenció d'un prototip, l'abast del projecte està condicionat per la limitada disposició de recursos de fabricació i el difícil accés a alguns dels materials i eines necessàries per a l'execució del prototip. Tot això, amb l'afegit de no disposar de cap tipus d'experiència en l'àmbit de la fabricació artesanal influirà directament en el nivell d'assoliment dels tres camps entorn els quals es sosté el motiu de ser del projecte.

- **Aprenentatge**

Tot i que la intenció és realitzar un estudi profund de l'estat de l'art que ens permeti entendre i ampliar els coneixements del món de l'esquí en la major mesura possible, en la fase d'investigació es prioritzarà l'anàlisi dels processos de fabricació artesanals, deixant en un segon pla altres aspectes com la enginyeria d'esquís industrials o l'estudi de l'esquí com a esport.

- **Estudi del comportament mecànic**

En quan al estudi del comportament mecànic, es veurà afectat de la mateixa manera pel limitat accés a la tecnologia necessària per a la realització d'experiments. Per això, s'ha decidit obviar experiments mecànics com l'assaig a ruptura o a torsió de l'esquí i centrar aquest apartat en un únic assaig a flexió, tant del prototip com de l'esquí existent, el qual ens permetrà extreure, no obstant, informació suficient per determinar la característica crítica d'un esquí, l'elasticitat.

D'altra banda, el nivell de sofisticació i precisió del disseny gràfic i de l'estudi del comportament mecànic del prototip mitjançant el mètode dels elements finits es veurà minvat per la capacitat dels programes de simulació disponibles.

Finalment, tot i que aquest projecte permetrà comparar un esquí fabricat artesanalment amb un industrial, degut al curt període de temps disponible per a la confecció del projecte, no inclourà altres estudis comparatius del comportament mecànic d'esquís confeccionats amb tècniques diferents, és a dir, constituïts, per exemple, amb sandvitxos de materials diferents o amb diferents mètodes de premsat.

- **Disseny i fabricació del prototip**

Per les raons exposades a l'inici d'aquest capítol, tot i que no es renuncia en cap cas a l'obtenció d'un resultat físic, s'assumeix la possibilitat de no aconseguir les característiques geomètriques i les prestacions mecàniques desitjades en el mateix.

No obstant això, s'aspira a obtenir un exemplar amb unes dimensions el més semblants possible a les de l'exemplar de referència prèviament establert. En aquest aspecte, s'espera aconseguir un nivell de precisió superior en l'assoliment de cotes com la longitud i l'amplada de l'esquí que en d'altres com la curvatura rocker i camber del mateix, les quals es descriuen més endavant.

En quan a les seves prestacions mecàniques, donat que s'espera tenir abast a tots els materials presents habitualment en un esquí, creiem possible obtenir unes propietats molt semblants a les sol·licitades. Tot i això, som conscients que aquestes es poden veure minvades per les imprecisions pròpies d'un procés de manufactura unides a la manca d'experiència.

4 JUSTIFICACIÓ

Tot i que creiem que sovint la justificació d'un treball acadèmic està implícita en la pròpia paraula acadèmic, en aquest cas, s'ha plantejat l'elaboració del mateix no només com una formació acadèmica, sinó també com una oportunitat d'explorar les possibilitats i dificultats que es poden presentar en el món de l'esquí a nivell laboral. Això es deu a la intenció, a llarga durada, d'obrir un negoci d'elaboració d'esquís, que basaria en un alt contingut artesanal el seu principal valor afegit.

A més, val a dir que aquest projecte reuneix alguns dels interessos que comparteixen els autors del mateix i és el fruit d'una triple coincidència que implica esport, naturalesa i enginyeria.

Així doncs, s'ha decidit canalitzar l'interès per l'enginyeria en general i la passió per l'esport de l'esquí en particular, en ampliar els coneixements sobre el mateix. A més, dins de l'ampli ventall de modalitats que inclou l'esquí, s'ha centralitzat l'estudi en la disciplina de muntanya, ja que suposa la màxima expressió dels tres condicionants.

D'altra banda, es va trobar en la idea de realitzar un procés purament artesanal, l'oportunitat de personalitzar uns esquís d'ús propi i la motivació d'obtenir-los per un preu menor al que caldria invertir al mercat actual.

Finalment, la possibilitat de satisfer la curiositat envers els sistemes de fabricació d'esquís existents ha estat la raó definitiva per la qual s'ha decidit realitzar aquest projecte.

5 ANÀLISI DE L'ESTAT DE L'ART

5.1 Una breu ullada a la història

Tot i que, degut a l'antiguitat d'aquest esport, existeix una gran controvèrsia respecte a la localització i l'any en el que es va originar l'esquí, segons els historiadors aquest va tenir lloc a Escandinàvia y al nord-oest de Rússia. De fet, l'exemplar més antic trobat fins a dia d'avui, es va localitzar a Vis (Rússia) i data de l'any 6000 a. C. També existeixen petroglifs a Noruega en els que apareixen esquiadors y caçadors amb esquís que daten de l'any 2500 a.C. Amb el que no hi ha cap tipus de dubte és amb que el motiu de creació dels esquís va ser la necessitat de facilitar el desplaçament, el comerç, la lluita i la caça en zones amb abundants nevades.

L'esquí va començar a popularitzar-se a partir de l'any 1900. Eren de fusta i bastant més llargs que els actuals. En aquesta època s'utilitzaven majoritàriament per a gaudir tot i que l'ús esportiu encara trigaria en arribar. Els primers jocs olímpics d'hivern incloent-hi l'esquí no van tenir lloc fins el 1924, a Chamonix, als Alps francesos.

A Espanya, els primers en pujar a uns esquís van ser els habitants de Sallent de Gállego tal i com explica Luis Alberto Martínez Embid al seu llibre "El Esquí en Sallent": les primeres taules d'esquiar van arribar a Sallent al 1905 des de Escandinàvia i Centre Europa passant per França i els Pirineus.

Actualment, 100 anys més tard de que l'esquí comences a arrelar com a afició a les zones més muntanyoses de tot Europa, existeixen 3.599 estacions arreu del món dedicades a la pràctica d'aquest esport.



Figura 1 Aparença dels primers exemplars d'esquís de la història (Aramón)

5.2 Característiques i propietats de disseny d'un esquí

5.2.1 Paràmetres geomètrics del disseny

Tot i que algun dels paràmetres geomètrics dels esquís com l'acabat de les espàtules tenen una funció purament estètica, la majoria de paràmetres influeixen en el comportament de l'esquí sobre la neu. Així doncs, per entendre les seves prestacions finals cal considerar els següents paràmetres geomètrics:

Longitud (cm): és la distància total entre les puntes de l'esquí, mesurada sobre la forma final de l'esquí, és a dir, sense tenir en consideració la seva curvatura.



Figura 2 Longitud de l'esquí mesurada de punta a punta de las espàtules (Skibuilders)

Longitud de carrera o running length (cm): es mesura entre els punts de contacte de l'esquí amb el terra. Una longitud menor d'aquesta cota pot proporcionar una major maniobrabilitat, mentre que una longitud major millora el contacte del cantó amb la neu durant el viratge.



Figura 3 Running length (Skibuilders)

Angle de sortida o de divergència: és l'angle que formen els cantells amb la perpendicular en el punt més ample de l'espàtula de la cua. Quan més gran sigui més forta és la conducció al final del viratge, mentre que esquís amb un angle de sortida petit faciliten el derrapatge, aquests darrers són més adients per neus verges.



Figura 4 L'angle de sortida d'uns esquís Rossignol de competició (Ski Market)

Radi de gir o turning radius (m): és el radi que tindria la circumferència tangent a la curvatura que dibuixa el canto del esquí des de la punta fins la cua o radi de gir. Un radi de gir més gran redueix el contacte entre el lateral de l'esquí i la neu, és a dir, dificulta la inclinació de l'esquiador i per tant l'execució del viratge. Al contrari, un radi de gir més petit o un major contacte lateral permet una major inclinació i millora la capacitat de gir.

La figura 5 mostra la variació del radi del viratge realitzat per l'esquí en funció del seu radi de gir i l'angle d'inclinació. Aquest darrer, és l'angle que forma el pla de la base de l'esquí amb la superfície.

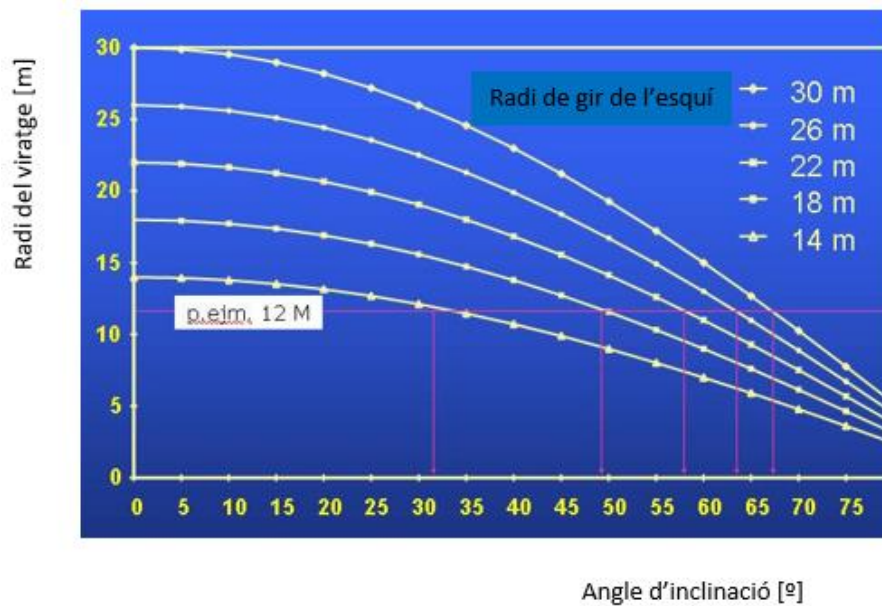


Figura 5 Relació del radi del viratge d'un esquí amb el seu angle d'inclinació i el seu radi de gir (Mechanics of sports)

La majoria dels esquís del mercat tenen un radi de gir que oscil·la entre els 20m i 30m.

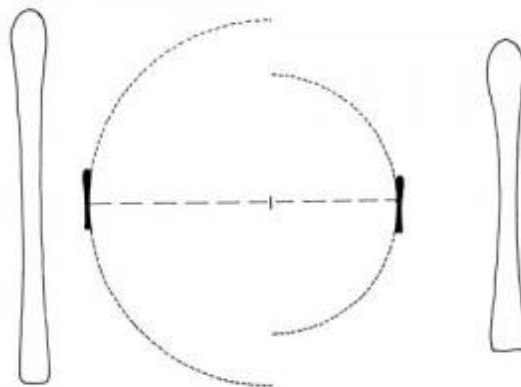


Figura 6 Esquis amb diferents radis de gir (Your ski coach)

Amplada de la punta i de la cua (mm): aquestes mesures es prenen als punts més amples de la punta i la cua, que normalment corresponen als punts de contacte. Té una relació directa amb el radi de gir de l'esquí. A igual mida de patí, un radi de gir més gran proporciona una amplada de cua i punta menor que la que resulta d'utilitzar un radi de gir més petit.

Patí o waist width (mm): és l'amplada de l'esquí en el punt on es col·loca la muntura, sovint coincideix amb el punt més alt de l'arc lateral de l'esquí. Determina la velocitat en el canvi de cantells. Quan més petit és el patí, major és la velocitat de canvi de cantells, mentre que un patí més ample augmenta l'estabilitat i la flotabilitat.

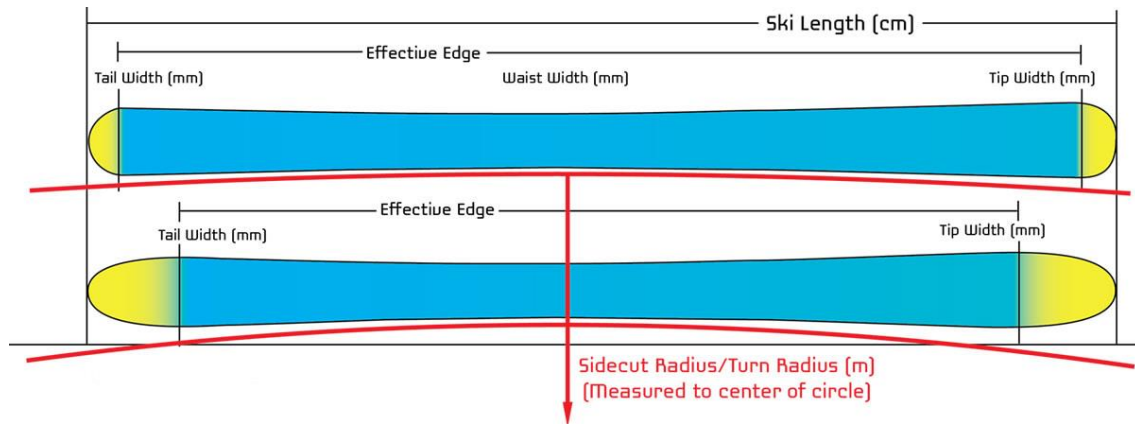


Figura 7 Amplades de l'esquí en diferents punts de la seva longitud (Nevasport)

Rocker o radi de les espàtules (cm): és la curvatura de l'espàtula a la punta i a la cua de l'esquí. Acostumen a tenir radis de 15 a 20 cm. Encara que no és tan important com altres paràmetres, facilita la flotació en neu pols i la iniciació del gir, disminueix la cantonada efectiva, el qual és perjudicial per a la sustentació en neus dures o gel.



Figura 8 Rocker (Ski builders)

Pont o camber (mm): fa referència a l'arc de l'esquí, és el que estructuralment es diu contra fletxa. La seva raó de ser és induir un estat de deformació en l'esquí perquè una vegada entra en càrrega, és a dir, quan s'aplica una pressió provocada pel pes de l'esquiador, aquest quedi recte i s'emmotlli al terreny. El camber afecta a diverses àrees del rendiment de l'esquí com: la pressió exercida als extrems o el rebot proporcionat per facilitar el viratge. Les mesures típiques oscil·len entre els 10 i 20 mm

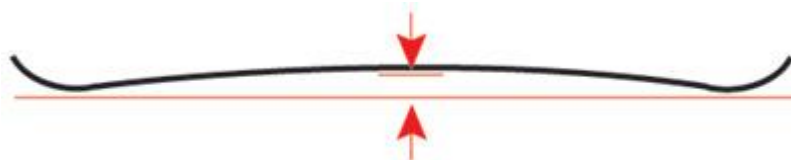


Figura 9 Arc principal de l'esquí o camber (Ski builders)

Un cop coneguts els paràmetres de necessària determinació per al disseny d'uns esquís, es poden entendre cadascuna de les indicacions que es troben detallades típicament a l'hora de comprar un esquí.

5.2.2 Propietats mecàniques i tècniques

De la mateixa manera que les característiques geomètriques, les propietats mecàniques d'un esquí influeixen notablement en el seu comportament i són de vital importància per a que l'esquí compleixi satisfactòriament la seva funcionalitat.

Les propietats que cal tenir en consideració alhora de valorar uns esquís són les següents:

- ***Resposta elàstica o reactivitat***

És l'energia o velocitat amb la qual l'esquí, deformat per l'aplicació d'una força, torna a la seva posició inicial després d'eliminar l'acció d'aquesta força.

Una resposta elàstica elevada augmenta la velocitat de gir ja que ajuda a l'esquiador a impulsar-se cap amunt al principi del viratge, però si aquesta és excessiva pot minvar l'equilibri i el control de l'esquí.

Tot i que, el disseny de l'arc de l'esquí pot afectar al seu nivell de reactivitat, aquesta propietat depèn majoritàriament dels materials que el componen.

- ***Duresa***

És la resistència d'un material a deformar-se. Evidentment la duresa d'uns esquís només depèn del material que el forma.

El comportament d'uns esquís està molt lligat a l'equilibri entre aquestes dues darreres propietats. Les mancances mecàniques d'un esquí tou poden ser compensades per una alta capacitat de resposta elàstica del mateix, mentre que un esquí dur però amb poca resposta elàstica pot ser igualment còmode de portar.

- ***Elasticitat i duresa dels materials que formen els esquís habitualment***

Materials durs i reactius: la fibra de vidre, la fibra de carboni.

Materials durs i poc reactius: el titani, l'acer dels cants.

Materials tous i reactius: el bambú i fustes en general.

Materials tous i poc reactius, les gomes elastòmeres, el polietilè de les soles.

L'única manera de determinar la duresa d'un esquí es a partir d'una prova de càrrega com la que es mostra a la figura 10.



Figura 10 Esquí sotmès a una prova de càrrega segons la norma DIN (Nevasport)

- ***Adherència***

L'adherència permet a l'esquí no derrapar quan és sotmès a una pressió lateral en travessar la línia de màxim pendent, és a dir, en la posició perpendicular a la pendent, particularment en neu dura.

Les qualitats d'adherència d'un esquí depenen de l'eficàcia dels cantells per a subjectar-se a la neu, la qual depèn, al seu torn, del seu grau d'afilament i del seu angle. Aquest angle té una relació directa amb la rigidesa a la torsió i a la deformació lateral de l'esquí.

- ***Rigidesa a la torsió i a la deformació lateral***

Si l'esquí no té una bona propietat de resistència a la torsió es pot torçar fent variar l'angle d'atac dels cantells, afectant així a la capacitat del canto a contrarestar les forces transversals i portant-los a derrapar.



Figura 11 Torsió (Nevasport)

- ***Flexió longitudinal (flexibilitat)***

És necessari que sigui constant en tot l'esquí per a que la pressió exercida sobre la neu sigui homogènia al llarg del seu perfil.

- ***Estabilitat***

L'estabilitat de l'esquí és la seva capacitat per mantenir la seva trajectòria sense vibracions ni ondulacions, particularment a gran velocitat i en terrenys irregulars. Està influenciada per la longitud de l'esquí, el dibuix de l'espàtula i per la flexibilitat, en particular de la part davantera. Els esquís flexibles i curts són els més penalitzats des del punt de vista de l'estabilitat.

- ***Desencadenament***

Facilitat de l'esquí a col·locar-se en viratge. Està fortament influenciada pel disseny de l'espàtula i de la part davantera de l'esquí. Una espàtula llarga i una flexibilitat important facilita l'inici del viratge, en detriment de l'estabilitat tal i com s'ha comentat anteriorment.

5.3 Modalitats

Existeixen diverses modalitats en la pràctica de l'esquí, cadascuna d'elles requereix unes especificacions determinades per assolir els objectius propis d'aquella modalitat.

Per això, donat que el disseny i les característiques del prototip que es vol construir tenen una dependència directa amb la modalitat a que es vol destinar la seva utilitat, hem realitzat un breu estudi sobre les modalitats clàssiques existents i les característiques dels esquís amb que es practica cadascuna d'elles.

Tot i que darrerament han sorgit noves tendències i poden existir altres pràctiques minoritàries, a continuació citem les més conegudes.

5.3.1 Esquí alpí

És la modalitat més popular gràcies a l'augment de les estacions d'esquí. Es va originar als Alps, d'on neix el seu nom. Reuneix totes les disciplines de competició que es basen en realitzar un descens en el menor temps possible.

- **Objectiu**

L'objectiu d'aquesta modalitat es descendir en el mínim de temps possible seguint un traçat marcat amb balises anomenades portes.

- **Característiques tècniques i disciplines**

Els esquís usats en aquesta modalitat reben el nom d'esquí Racing. Tots ells tenen una part central (patí) estreta com a característica comú, per afavorir el canvi de canto. Aquest tipus de taules acostumen a incorporar grafit a la sola amb l'objectiu d'evitar que aquesta obstrueixi l'electricitat estàtica creada pel fregament.

No obstant això, existeixen diverses categories diferenciades segons la disciplina en que s'empren.

-Descens: és la de recorregut més llarg i amb velocitat més elevada d'entre les proves d'esquí Alpí. Les portes estan separades per un mínim de 8 metres.

-Eslàlom: és la de recorregut més curt, però el nombre de portes és major (entre 55 i 75) i la distància entre elles va des de els 75 cm als 15 metres, sent aquestes portes un simple pal. Aquesta disciplina necessita una habilitat més gran, ja que els girs són més tancats.

Els esquís d'eslàlom tenen un radi de gir petit per tal de poder realitzar girs curts i la seva longitud és, normalment, menor que l'alçada de l'esquiador.

-Eslàlom Gegant: redueix les distàncies entre portes a un mínim de 5 metres i amb menys portes que l'eslàlom, un mínim de 30. El traçat precisa de girs més tancats que les proves de velocitat.

Els esquís d'aquesta disciplina tenen un radi de gir lleugerament major que els de Eslàlom i són una mica més llargs.

-Combinada: consta d'una part de descens i una altra d'eslàlom. Es realitzen com si fossin independents però a dues mànigues i en el mateix dia.

-Paral·lel: consisteix en dos descensos simultanis sobre un traçat més curt que un eslàlom. La distància entre portes aquesta a mig camí entre un eslàlom Gegant i un eslàlom.

Existeixen altres disciplines menys comuns com la Súper combinada o la Súper Gegant que resulten de combinar les anteriors. O el Skicross emprava taules amb cotes similars a les de Gegant, però una mica més toves i amb algunes modificacions, com per exemple, les cues aixecades. Estan dissenyats per fer carreres amb salts, peralts, i altres obstacles. Combina maniobrabilitat súper lleugera amb alta estabilitat de marxa.



Figura 12 Esquí alpí (Canal freeski)

5.3.2 Esquí de fons

També conegut com esquí nòrdic o de camp a través, i en anglès cross-country skiing, és una modalitat on es recorren llargues distàncies, amb l'objectiu de completar el recorregut en el menor temps possible i es realitza en terrenys plans o ondulats.

- **Objectiu**

Incrementa la superfície de suport per augmentar la flotació i aprofitar les característiques de lliscament de les superfícies gelades per poder desplaçar-se sobre qualsevol tipus de neu fora de pista.

- **Característiques tècniques i disciplines**

Superfície ampla. Tenen una sola absolutament llisa i impermeable. La seva forma allargada augmenta l'estabilitat i facilita l'equilibri, l'ús de bastons permet impulsar l'avanç.

-Estil clàssic: s'usen esquís amb escates o encerat en el medi de l'esquí que permeten l'adherència de l'esquí en els ascensos. En aquest gènere es solen passar els esquís per carrils o traces realitzades de forma artificial, i l'avanç s'aconsegueix lliscant els esquís per les traces, sigui de forma alternada o paral·lela.

-Estil patinador: s'usen esquís sense escates ni cera i es fa servir la parafina per lliscar amb menor esforç en pujades i amb més velocitat a les baixades. En aquest gènere, l'avanç es realitza d'una forma semblant a la d'un patinador, d'aquí la denominació.



Figura 13 Esquí de fons (Canal freeski)

5.3.3 Esquí de travessa o de muntanya

En anglès ski touring, és una disciplina a mig camí entre les modalitats de l'esquí alpí i el de fons, però no requereix zones preparades ni assenyalades

- **Objectiu**

Consisteix en fer l'ascensió i el descens d'un pic. L'ascensió es realitza caminant per a això, les taules d'aquest tipus d'esquí van proveïdes amb unes pells de foca, les quals s'adhereixen a la part inferior l'esquí evitant que aquest llisqui quan es camina de cara a la pendent de la muntanya. Un cop s'arriba al pic, es retiren les pells i el descens es fa esquiant.

- **Característiques tècniques i disciplines**

Aquesta modalitat requereix un nivell mitjà-alt d'esquí i material i equip específic, així com una preparació física i capacitat tècnica, ja que les condicions del descens són imprevisibles i implica saber esquiar sobre qualsevol tipus de neu.

Tenint això en consideració i les tres disciplines d'aquesta modalitat que es descriuen a continuació, podem trobar diferents característiques de disseny per aquests esquís, però tots ells compten amb unes fixacions que els hi permeten alliberar el taló per ascendir i fixar-lo per al descens.

-**Freeride**: tal i com es descriu més endavant, aquesta disciplina es pot catalogar com una nova modalitat de l'esquí per si mateixa, però el fet que s'acostuma a combinar amb la pràctica de l'esqui de muntanya fa que també es pugui tractar com una disciplina d'aquesta darrera.

Se centra en optimitzar la baixada relegant l'ascens a un segon pla.

El patí d'una taules freeride ha d'estar entre 95mm i 115-120mm, essent més amples quan més corpulent i alt sigui l'esquiador. L'alçada de la taula ha de ser similar a la de l'esquiador, amb una variació de cinc centímetres.

Són molt adients per neus profundes i salts, però perden prestacions en neus molt dures o gel. A més, el tamany de dimensions considerables es tradueix en un major pes, el qual dificulta la maniobrabilitat durant l'ascens amb les pells de foca.

Aquesta disciplina ha acabat sent una modalitat en si, que més endavant explicarem més detalladament.

-Competició: se centra en optimitzar les prestacions per facilitar l'ascensió.

El patí de les taules de competició ha d'estar entre els 65mm i els 75mm. S'utilitzen esquís curts, entre 10 i 15 centímetres menys que l'alçada de l'esquiador. Les mesures mínimes en aquesta disciplina són 1.60m per a homes i 1.50m per a dones.

Aquestes taules són molt lleugeres perquè són petites i això fa que també siguin molt maniobrables. Tenen un bon rendiment en neu dura i gel, però si la neu és tova o profunda perden prestacions, a més cal renovar-los amb freqüència.

-Polivalents o All-Mountain

El patí dels esquís de muntanya polivalents està entre els 80mm i 90mm. Tenen una longitud igual o lleugerament menor a l'alçada de l'esquiador. Són una simbiosis dels Carver de Slalom i dels esquís de Freeride. Tenen una amplada central considerable i en molts casos tenen les cues aixecades.

Tal i com el seu propi nom indica, aquestes taules serveixen per a tot tipus de condicions. Són els més adients per a realitzar llargues travesses i tenen una gran durabilitat.



Figura 14 Esquí de muntanya (Muntanya, Centre Excursionista de Catalunya)

5.3.4 Esquí freestyle

Va començar al voltant de 1930, quan esquiadors noruecs van començar a realitzar acrobàcies durant els seus entrenaments, i més tard es van començar a realitzar exhibicions d'esquiadors no professionals als Estats Units. La Federació Internacional d'Esquí va reconèixer l'esquí acrobàtic com a esport el 1979.

- **Objectiu**

Els esquiadors han de donar salts i realitzar trucs mentre es troben a l'aire.

- **Característiques tècniques i disciplines**

Aquest tipus d'esquís utilitzen una doble espàtula per realitzar trucs i facilitar les recepcions de salts i les progressions d'esquena. Les cotes són moderades i regulars en tota la longitud i conserven un patí eixamplat per gaudir de gran estabilitat, el que els fa ideals per a les sortides de pista en moltes ocasions.

- Esquí aerial: s'efectuen salts acrobàtics des de plataformes de fusta, col·locades a terra i cobertes de neu. Les plataformes acaben en una rampa empinada, que permet realitzar salts de fins a 15 metres. Durant el salt, els professionals realitzen múltiples tombarelles i girs abans d'aterrar sobre una pista inclinada.

- Esquí mogul: va començar a aparèixer poc després que les proves d'aerial es fessin populars. Els esquiadors llisquen al llarg d'una escarpada pendent de neu plena de sots i monticles (anomenats moguls) al llarg de la qual han d'efectuar diversos salts acrobàtics. El vessant és especialment inclinada, normalment entre 22 i 32 graus i una longitud d'uns 250 metres.



Figura 15 Esquí freestyle (Vancouver freestyle ski club)

5.3.5 Esquí freeride

- **Objectiu**

Consisteix en no seguir un recorregut marcat, sinó que l'esquiador tria un amb total llibertat. Per a practicar aquesta modalitat d'esquí es necessita anar a muntanyes verges, amb neu pols, pendents importants, existència d'obstacles...

- **Característiques tècniques i disciplines**

No és una disciplina tancada i per a cada persona és diferent. Per l'ús freeride s'utilitzen esquís amb l'espàtula generalment més ampla, i més alta. Com més amplada tingui en tota la longitud l'esquí, més adaptats als fora pista serà l'esquí.



Figura 16 Freeride (Zermatt)

5.4 Processos de fabricació

En la fabricació d'un esquí, l'objectiu principal és obtenir una làmina que tingui durabilitat i les propietats mecàniques adients per tal d'optimitzar la comoditat, agilitat i velocitat de l'esquiador. Aquesta fi es pot assolir en major o menor grau depenent dels materials emprats, la metodologia d'acoblament i la precisió en el procés de fabricació.

Tal i com s'explica en el proper capítol, actualment, existeixen una gran varietat de fabricants d'esquís. Tot i que tots ells fan el possible per aportar productes diferents als dels seus competidors, introduint innovacions en els seus mètodes de fabricació. Gran part dels processos de fabricació són comuns o molt similars.

Així doncs, i com és evident, únicament apareixen grans diferències entre els processos de fabricació artesans i els industrials. De fet, fins i tot en aquestes dues àrees, tant diferenciades pel nivell de recursos emprats, s'usen tècniques comuns en algunes de les etapes, com el disseny gràfic o la selecció de materials de l'esquí.

Per aquesta raó, s'han definit a continuació, els passos i mètodes bàsics dels processos de fabricació més habituals, distingint entre, d'una banda les etapes comunes per als dos sectors, i d'una altra les etapes pròpies dels processos artesanals i industrials.

Donat que la raó de ser del treball és l'elaboració d'un prototip mitjançant un procés artesanal, s'ha aprofundit més en l'estudi d'aquest darrer camp, mentre que no s'ha realitzat un anàlisi tant detallat del sector industrial.

5.4.1 Etapes comuns en els processos de fabricació industrials i artesanals

Com s'ha remarcat, tret de petites variacions, que són fruit del marge de personalització implícit en qualsevol procés artesà, la major part de les tècniques emprades actualment en l'elaboració artesanal d'uns esquís tenen un guió comú. Es descriuen a continuació les etapes bàsiques d'aquest guió

a) Disseny de l'esquí

Aquesta etapa és sempre prèvia a l'inici de la fabricació i és independent al nivell d'industrialització del mateix.

El disseny de l'esquí no és més que la determinació de les cotes geomètriques, definides detalladament en un apartat anterior, que defineixen la forma de l'esquí i la confecció d'un dibuix que plasmi aquestes mesures. Tot i que, el disseny d'un esquí també inclou la determinació dels materials que el confeccionen, donat que acostuma a presentar poques variacions i suposa una fase de gran importància, es tractarà més endavant com un apartat independent.

Aquesta és probablement la fase que inclou una major diversitat d'opcions. No només en quant als infinits possibles dissenys que es poden obtenir variant qualsevol de les característiques geomètriques d'aquest, sinó també per les diferents maneres de plasmar el disseny desitjat.

El disseny de l'esquí es divideix en dos parts o vistes, la planta i la vista lateral o perfil.

- Planta

Les dimensions mínimes, amb les unitats corresponents, que cal acotar per tal de definir completament **la planta** de l'esquí, s'esmenten a continuació:

- Angle de sortida o de divergència (rad)
- Turning radius o radi de gir (m)
- Punta i amplada de la cua (mm)
- Waist width o patí (mm)
- Running length o longitud de carrera (cm)

No obstant, en funció del nivell de sofisticació del disseny de l'esquí, pot sorgir la necessitat de definir altres cotes, com el valor de l'abscissa dels punts d'amplada màxima o els diferents radis d'espàtules amb curvatura variable. A la figura 15, per exemple, es defineixen, a més dels paràmetres base, alguns valors que determinen l'amplada de l'esquí en certs punts de la seva longitud.

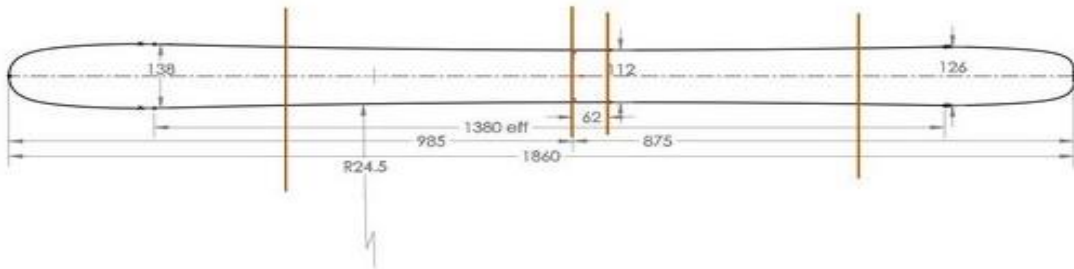


Figura 17 Disseny de la planta d'un esquí amb SolidWorks (Skibuilders)

- Perfil

Les dimensions mínimes, amb les unitats corresponents, que cal acotar per tal de definir completament **el perfil** de l'esquí, s'esmenten a continuació:

- Longitud (cm)
- Running length o longitud de carrera (cm)
- Rocker o radi de les espàtules (cm)
- Camber o pont (mm)

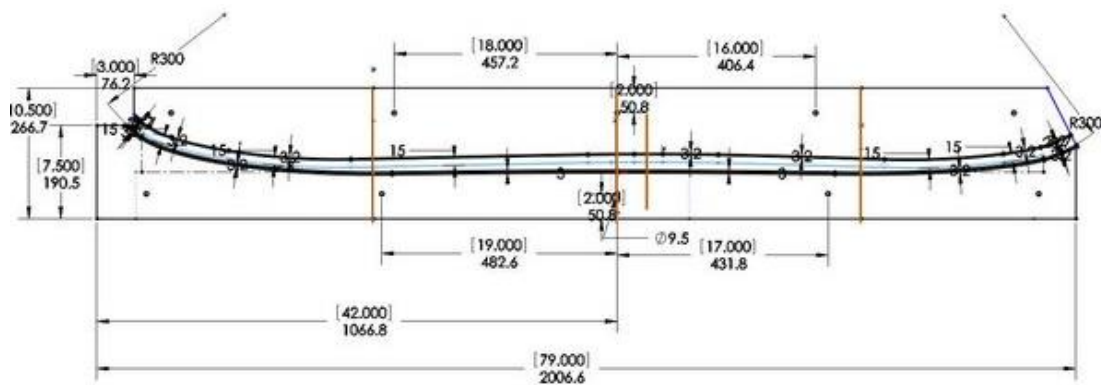


Figura 18 Disseny de la vista lateral d'un esquí amb SolidWorks (Skibuilders)

Igual que en el cas del disseny de la planta, es poden determinar moltes altres cotes per tal d'obtenir una geometria més sofisticada i precisa. La figura és un exemple del disseny d'un perfil amb el gruix definit en cada punt de la seva longitud.

Un cop tots els paràmetres són definits, es plasmen de forma conjunta per tal d'obtenir un model complet de l'esquí. Tal i com s'ha comentat, existeixen moltes maneres de fer-ho, amb graus de sofisticació i precisió ben variats. Des de calcar el traçat d'un exemplar existent amb l'ajuda de paper mil·limetrat o amb una màquina de control numèric, fins al dibuix a mà. No obstant el mètode més comú i recomanable es l'ús d'un programa de control de disseny assistit.

a) Materials i parts de l'esquí

Per a la fabricació d'uns esquís de forma artesanal es requereixen una gran varietat de materials i eines. A continuació, es detalla la llista que constitueixen el propi esquí.

1) Fibra composta o composite: és el material que aporta la major part de la rigidesa de l'esquí. Pot ser de vidre, de carboni, kevlar o fins i tot basalt entre d'altres alternatives. Es tracta, en essència, de fibres/fils que junts formen un teixit. Aquest teixit no ofereix cap funció per si sol, però quan es barreja amb la resina amb calor i pressió proporciona unes propietats excepcionals a l'esquí, és flexible resistent i durador. Això s'anomena matriu i típicament presenta una relació fibra-resina d'aproximadament el 60-40%

Cada tipus de fibra té un cost i unes propietats diferents, les més comuns són:

- Fibra de vidre

Al voltant del 90% dels esquís del mercat utilitzen només fibra de vidre, ja que aporta entorn al 50-80% de la rigidesa total de l'esquí, i pot doblegar-se molt abans de trencar-se. Quan es combina amb un nucli de fusta, té una sensació molt agradable però sensible a la humitat.

Gran culpa de la popularitat d'aquest material es deu al seu reduït cost, mentre que el seu principal inconvenient és la seva elevada densitat en comparació amb altres fibres.



Figura 19 Fibra de vidre (Carbosystem)

- Fibra de Carboni

El segon teixit més popular és la fibra de carboni. Té un cost molt més alt que el de fibra de vidre, però és molt més lleuger per a un mateix nivell de rigidesa.

Quan un esquí es doblega, la part superior de l'esquí treballa a compressió i la part inferior de l'esquí a tracció, el que pot provocar el vinclament de les fibres de carboni degut a la seva elevada rigidesa. Per aquestes dues raons, els fabricants solen afegir fibra de carboni a les esquís. Aquestes són bàsicament tires fines de carboni que ajuden a reduir el pes total, sense sacrificar massa diners o força.



Figura 20 Fibra de carboni (Carbosystem)

- Fibra d'Aramida

L'aramida, comunament coneguda pels noms comercials de Kevlar i Nomex, és també més lleugera per a una determinada quantitat de rigidesa que la fibra de vidre. A causa del seu elevat cost, rarament s'utilitza en grans quantitats, però pot tenir efectes magnífics per la seva capacitat per esmorteir vibracions i absorbir impactes.

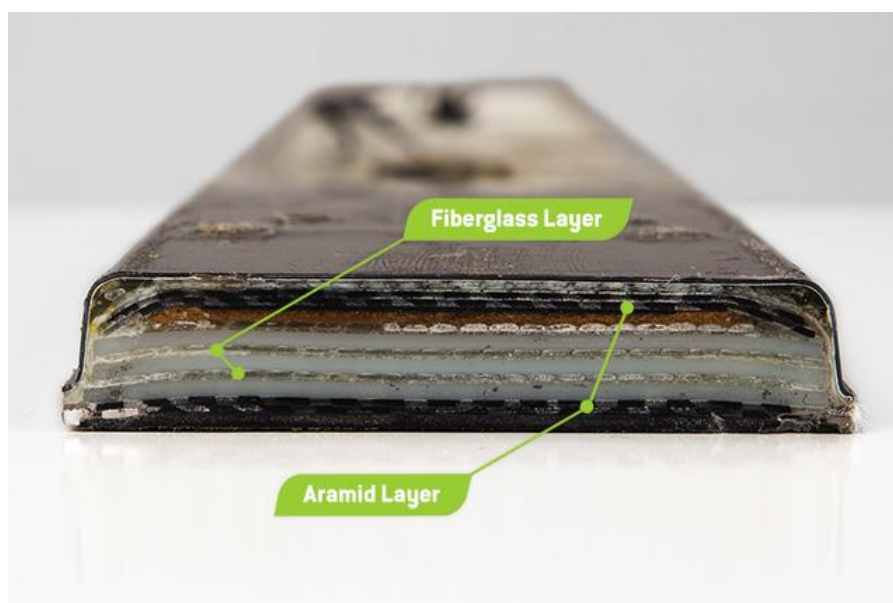


Figura 21 Sistema tipus sandvitx amb fibra de vidre i aramida (Backcountry)

2) El nucli: normalment és de fusta, tot hi que per alguns esquís en els que es vol minimitzar el pes com en els exemplars d'esquí de muntanya, es pot fabricar d'escuma.

S'empren diferents tipus de fusta en funció de les prestacions que es volen aconseguir. En l'apartat, exposat més endavant, sobre la confecció del nucli es detallen les fustes més apropiades per optimitzar cada propietat. Algunes de les més comuns són el Faig, la Paulonia, el Roure, el Freixe, l'Àlber, l'Auró o el Cedre.

3) Part superior: el terme en anglès és Topsheet. És de Nylon, permet donar un millor acabat a l'esquí, així com assegurar la cohesió del sandvitx de materials. També aporta una protecció addicional i permet estampar grafies sobre la superfície superior sense malmetre l'esquí.

4) Base o sola: és una capa d'uns d'entre 1 i 1,5 mil·límetres de gruix. De la seva qualitat depèn el nivell de lliscament de l'esquí. Sol ser de polietilè, el qual és un material tou i delicat, de manera que es reforçat amb materials més durs com el grafit per evitar que es ratlli i perdi la seva plenitud. Per aquesta raó, avui dia tots els fabricants fan servir polietilè d'alt pes molecular (UHMW-PE) per al 80% dels esquís. Aquest polietilè s'obté per dos processos l'extrusió (XPS) i el sinteritzat i té una absorció d'aigua pràcticament nul·la i bona resistència mecànica.

Al mercat podem trobar UHMW de diferents densitats entre 3 i 5 milions kg/mol de pes molecular.

5) Cantells : en anglès referits com edges i sidewalls. És una de les parts més crítica de l'esquí, donat que d'ella depèn l'adherència amb la neu per impedir el lliscament de l'esquí perpendicularment a la pendent.

La seva propietat més important és la duresa, ja que ha de resistir el desgast provocat per la fricció amb la neu però també han de ser suficientment dúctils per no escardar-se. Per això, gairebé tots els cantells són d'acer o d'acer inoxidable. Aquest darrer resisteix millor l'oxidació però és més tou i el seu cost es substancialment major.

També podrien fabricar-se cantells amb metalls com l'alumini, titani, ergal o zical però no és gaire usual.

6) Cautxú o VDS: es disposa entre els cantells i la de fibra de vidre per millorar la subjecció entre les capes, fins i tot quan es flexioni l'esquí.

7) Reforç de la cua i la punta i proteccions laterals: per reforçar les espàtules on el nucli de fusta és més prim, s'utilitzen polímers termoplàstics com el polietilè d'alta densitat UHMW-PE o l'ABS, també es pot col·locar sobre els cantells (en les construccions tipus sandwich descrita seguidament) per absorbir vibracions.

En quan a les proteccions laterals o sidewalls en anglès, són capes de plàstic que envolta el nucli, els tres més utilitzats són el TPU, ABS i UHMW. El TPU és el més barat i ofereix una bona resistència a l'impacte, però és més dens que els altres el que augmenta el pes de l'esquí. L'ABS ofereix una bona barreja de propietats mecàniques, però no és barat. Finalment, l'UHMW-PE ofereix bones propietats mecàniques, té major capacitat de lliscament i és més lleuger que els altres, però és el més car i pot tenir dificultats per cohesionar-se amb les altres capes de l'esquí. També s'usen algunes poliamides per a les cobertes o elastòmers com el fenol.

La figura 22 mostra la disposició habitual dels materials descrits en un esquí.

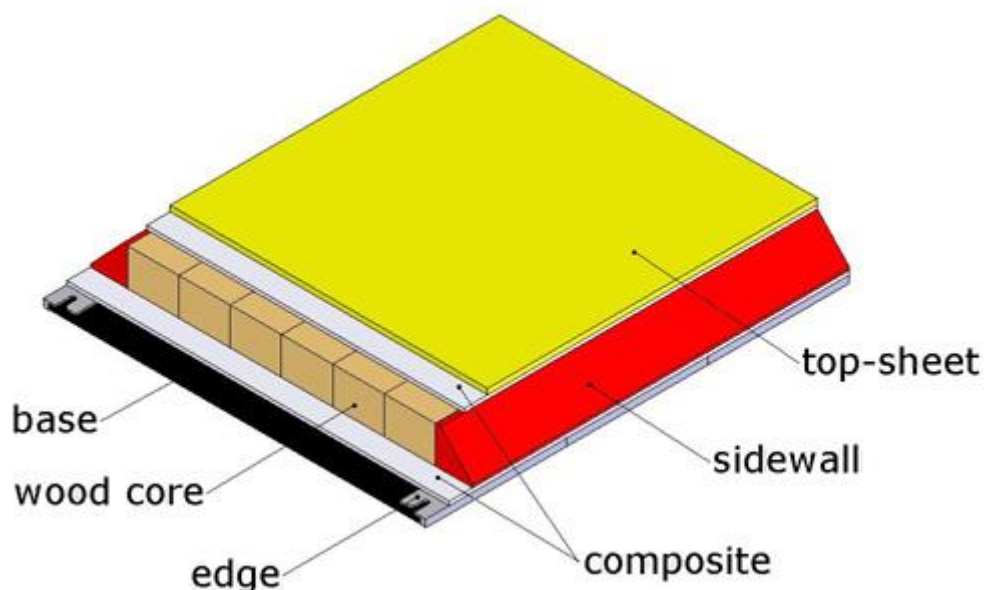


Figura 22 Superposició de les capes que confeccionen un esquí

8) Resina de cohesió: finalment, tot i que no és un material pròpiament de l'esquí, cal esmentar la resina de cohesió, ja que és un element present en tots els esquís i propicia la unió entre les capes. És un producte de dos components que consisteix en un enduridor i un polímer termoestable (resina) que pot ser de tipus fenòlic, melamínica, ureica o epoxy, aquest darrer és el més usual. El producte final es denomina cura i té molt bones propietats mecàniques.

5.4.2 Etapes pròpies dels processos de fabricació artesans

a) Motlle artesà

La construcció del motlle és potser la fase que requereix més precisió de tot el procés, ja que d'aquest depèn la forma final de l'esquí. De manera que cal treballar amb delicadesa i deteniment per assegurar un bon resultat, especialment si es fa artesanalment.

La gran majoria de motlles destinats a la fabricació d'esquís de forma artesana estan fets completament de fusta tot i que es poden emprar altres materials per als elements d'unió o per a l'acabat de la cara més superficial, en contacte directe amb l'esquí.

A grans trets, es pot afirmar que existeixen tants tipus de motlles com esquís diferents, es a dir, cada motlle pot ser usat per fabricar esquís amb únicament unes característiques geomètriques, les transmeses pel propi motlle. No obstant, alguns motlles poden variar les seves dimensions per obtenir peces amb curvatures o longituds diferents, però la seva fabricació es considerablement més sofisticada i costosa, de manera que el seu ús a nivell artesanal es molt poc comú.

Considerant doncs el disseny geomètric com a única fase variable dels processos de fabricació de motlles artesanals, es descriuen a continuació els passos i les tècniques emprades més freqüentment.

1) Disseny del motlle

Tal i com s'ha esmentat, la curvatura (camber i rocker) final de l'esquí depèn directament de la curvatura que dibuixi la superfície del motlle. De fet, normalment, alhora de dissenyar el perfil del motlle, s'exageren lleugerament les cotes definides inicialment per l'esquí, per tal de compensar la recuperació elàstica (relaxació) que experimenta aquest quan s'extreu de la premsa i que acostuma a ser d'aproximadament 8-10 mm.

Així doncs, el primer pas es dissenyar la curvatura del motlle, per la qual cosa cal determinar els mateixos paràmetres definits pel perfil de l'esquí, però amb un petit increment:

Mold Running length: distància entre els punts de contacte de les espàtules amb el terra.

Mold camber high: alçada màxima del camber, és a dir, de la curvatura central.

Mold Tip and tail: poden ser curvatures amb un radi constant o variable. A més de tenir un radi major que el corresponent al rocker del disseny de l'esquí, també és convenient allargar-les uns 5 cm i que acabin en una superfície plana, per tal de que càpiga el sandvitx de materials i que encaixi el sistema de premsat, tal i com s'exposarà més endavant.

Mold length: cal definir una longitud del motlle una mica més llarga de la desitjada per l'esquí, per tal d'assegurar que hi càpiga tot el material, a més, aquesta mesura permet flexibilitat alhora de determinar la longitud de les espàtules.

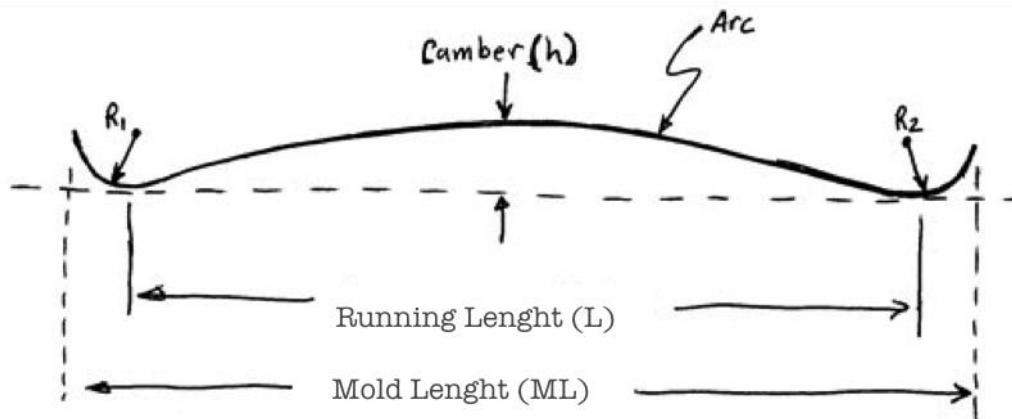


Figura 23 Paràmetres geomètrics del motlle (Esquiland)

Un cop definides aquestes magnituds, només cal plasmar-les en un dibuix. Normalment amb l'ajuda d'un programa de control de disseny assistit.

Tipus de fusta: cal tenir en compte que la fusta emprada per constituir el motlle, haurà de ser capaç de suportar l'elevada pressió infligida per la premsa i ser alhora fàcil de treballar. Existeix un ampli ventall de fustes adequades per complir amb aquestes sol·licitacions.

Gruix dels llistons: ha de ser d'un valor suficientment gran com per no trencar-se quan es sotmet a la pressió de la premsa però no excessivament gruixut per tal de no complicar el tall de la fusta. Normalment oscil·la entre els 2 i 15 mm.

2) Realització de plantilles

A continuació es dibuixa el disseny de la vista lateral del motlle en un programa de disseny gràfic com CAD i s'obté el traçat imprimint-lo en mida real. Seguidament es plasma en un paper cartró o un material similar i finalment es fa el propi sobre un llistó de fusta i es talla seguint el traçat.

Donat que l'objectiu serà obtenir diversos llistons el més semblants possibles, és convenient utilitzar el primer llistó obtingut com a model per a tallar la resta.

3) Costelles, punta i cua

El següent pas és utilitzar les plantilles per tallar els llistons de fusta. Tot i que no és la única opció, normalment no es tallen els llistons d'una sola peça sinó que es separa entre les costelles, és a dir, la part de l'esquí entre recolzaments i la cua i la punta de l'esquí. Això permet d'una banda un cert marge de variació de la longitud del motlle i per tant dels esquís que s'obtindran, i d'altra banda permet intercalar les costelles amb els llistons de les puntes, la qual cosa estalvia feina i material. Cal tallar-ne tants com calgui per obtenir un gruix equivalent com a mínim al del patí desitjat per l'esquí.

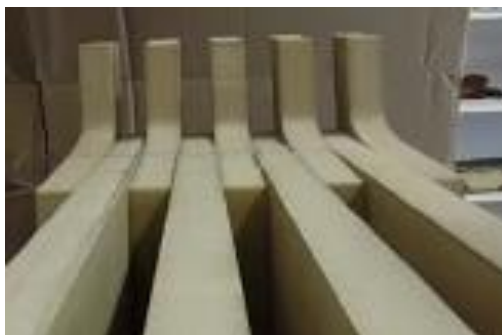


Figura 24 Motlle artesà construït intercalant els llistons de les costelles amb els de les espàtules (Youtube)

4) Acoblament

A continuació s'uneixen les peces utilitzant cola de fusta o claus i cargols per assegurar la unió de les peces. Alternativament, es pot fer un motlle que sigui ajustable, és a dir, permetent la mobilitat de les peces de punta i cua per adaptar el motlle a diferents longituds d'esquís.

Seguidament cal llimar la superfície dels llistons per tal d'anivellar-los en la major mesura possible i per tal de facilitar la cohesió de la placa final. Aquesta consisteix en una làmina llisa, que pot ser de fusta o d'alumini, el suficientment flexible com per adoptar la curvatura dels llistons. La unió es pot realitzar amb l'ús de cola o claus.



Figura 25 Placa superficial del motlle del esquí (Blueberry)

5) Construcció del motlle superior

Les dimensions del motlle superior no són tan crítiques com el motlle de base perquè el motlle superior simplement s'utilitza per omplir l'espai dins de la cavitat de la premsa. Així doncs, n'hi ha prou amb unir els negatius obtinguts al tallar els llistons que formen la base.



Figura 26 Motlle de fusta amb el negatiu i el positiu encaixats (Wooden skis)

b) Procés d'acoblament

Un cop obtingut el motlle, el disseny i els materials necessaris, es procedeix a l'acoblament de l'esquí. Tot i que a nivell industrial existeixen diferents mètodes per executar aquesta fase, en un procés artesanal només hi ha la possibilitat de realitzar-la mitjançant el sistema de construcció tipus sandvitx.

Bàsicament consisteix en tallar les diferents làmines de materials que formen l'esquí amb la forma de la planta desitjada i solapar-les seguidament amb un ordre determinat per obtenir un sandvitx de materials.

No obstant, prèviament a aquest pas, cal treballar algun dels materials per obtenir el gruix òptim. A continuació, es descriu pas per pas el procés d'acoblament seguit més freqüentment en la confecció d'esquís artesanals:

1) Confecció del nucli de l'esquí

El nucli és la capa més important de l'esquí perquè és la que suporta els esforços en major mesura, per això és també la que requereix una preparació prèvia més sofisticada.

La seva confecció es divideix en tres subetapes:

- Elecció del material

-Fusta

Pràcticament tot els nuclis dels esquís són de fusta, ja que és capaç d'emmagatzemar energia i de repartir les càrregues de manera excepcional, això permet la recuperació de la forma de l'esquí quan s'allibera d'una força aplicada, la qual impulsa lleugerament l'esquiador i facilita l'inici del viratge.

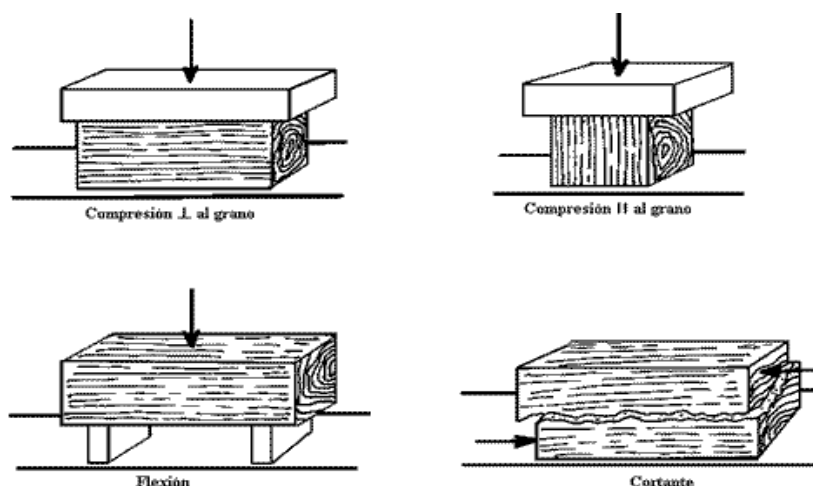
-Escuma

No obstant, i tot i que la fusta dona a l'esquí més estabilitat i precisió que l'escuma, la fusta és cara, per això, quan el rendiment no és l'objectiu, s'utilitza l'escuma. És el cas d' esquís de baixa gamma o infantils fets amb PU injectat. El seu problema és que perden la rigidesa molt abans i no tenen la mateixa recuperació elàstica, a més tenen una menor capacitat d'amortiment de vibracions.

També existeixen nuclis que combinen tots dos materials, però no és gaire usual.

En funció de les propietats físiques que es volen obtenir, s'empren un tipus de fusta o altre, o una combinació de diverses fustes, donat que les propietats mecàniques varien notablement entre els diferents tipus de fusta.

Degut al tipus d'esforços al que es sotmet un esquí, les propietats mecàniques crítiques del seu nucli de fusta són la **densitat, de resistència a flexió i l'elasticitat**, mentre que la resistència a tracció i compressió són secundàries.



A continuació es mostren algunes de les fustes que s'usen més comunament en els nuclis, juntament amb el valor corresponent de les seves propietats.

TIPUS DE FUSTA	Mòdul Young (MPa)	Tensió de ruptura (GPa)	Densitat (kg/m ³)
Àlber	9 - 11	57,6 – 70,4	430 - 530
Cedre	11,6 – 14,2	78,8 – 96,3	430 - 530
Auró	9,9 – 12,16	66,4 – 81,2	480 - 590
Freixe	11,9 – 14,5	66,4 – 81,2	600 - 740
Roure	12,1 – 14,8	94,3 - 115	690 - 840
Balsa	5,9 – 7,2	45,9 – 56,1	330 - 410
Paulonia	4,38 – 5,5	50,7 – 55,2	330 - 400
Faig	12,1 – 14,21	95,5 – 109,83	700 - 760

Figura 28 Propietats dels diferents tipus de fusta obtinguts del programa CES EduPack 2013

Així doncs, tot i que existeix una gran varietat de possibilitats, quan es volen obtenir uns esquís de gran lleugeresa se sol usar Paulonia o Bassa, mentre que si es vol augmentar la resistència mecànica de l'esquí s'acostumen a usar llistons de Bedoll. La zona de les fixacions es reforça amb una fusta resistent a l'arrencada i al cargolat, com per exemple el Faig.

- Acoblament del nucli

El nucli de fusta no consisteix simplement en una única peça de fusta sinó que cal seguir una tècnica clau per tal de neutralitzar l'efecte negatiu que podria provocar la característica d'anisotropia de la fusta sobre les prestacions mecàniques de l'esquí.

Així doncs, donat que les seves propietats mecàniques varien en funció de la direcció de la força a la que es sotmesa, és essencial confeccionar el nucli de manera que les fibres de la fusta es disposin en perpendicular a la força vertical que suposa el pes de l'esquiador.

Això s'assegura, tallant la taula de fusta en diversos llistons i enganxant-los seguidament entre ells amb una rotació prèvia de 90 graus sobre el seu eix transversal. És a dir, la cara tallada de cada llistó passa a formar part de la cara superior i inferior del nucli, de manera que les fibres queden com s'observa a la fotografia següent.



Figura 29 Posició de les fibres en el nucli de l'esquí (Skilab)

Abans d'unir els llistons, s'envernissa la fusta per protegir-la de la humitat i augmentar la seva durabilitat.

- Gruix variable

Finalment, es dissenya i s'aplica un gruix variable al llistó de fusta. La punta i la cua són primes per alleugerir el pes de l'esquí i augmentar la maniobrabilitat mentre que el centre és fort i gruixut, per tal de poder muntar-hi les fixacions i suportar el pes de l'esquiador.

Actualment, l'aplicació d'un gruix variable en un llistó de fusta es pot realitzar de manera molt fàcil i ràpida mitjançant una màquina CNC. No obstant, en els processos artesans, aquesta fase requereix major dedicació.

La tècnica més comú consisteix en la utilització d'una fresadora de fusta, també anomenada fresadora o rebaixadora. Aquesta eina permet realitzar un desbast de la superfície de la fusta reduint paulatinament el seu gruix. L'òptim és treballar també amb una taula de fresa ja que disposa d'uns rails a cada banda que augmenten la precisió alhora d'obtenir el gruix desitjat. Opcionalment, es pot perfilar l'alçat desitjat pel nucli en dos llistons que treballin a mode de plantilla i facin de topalls per assegurar no reduir el gruix més del desitjat en cada punt.

La figura 30 següent mostra una fresadora sobre els rails d'una taula de fresa.



Figura 30 Fresadora de fusta sobre rails (Monografias)

A més, cal utilitzar una aspiradora com a dispositiu de succió de la fusta devastada.

2) Unió de les proteccions laterals

Es colen les parets laterals al nucli de fusta mitjançant la resina. És preferible que siguin més amples del necessari, ja que més endavant es tallarà el material excessiu i s'alinearà amb la base i els cantells. El material que forma aquestes proteccions es sotmès a un tractament de flamejat i llimat per tal d'augmentar la seva adherència al nucli.

3) Preparació de la base

Es talla el material de la base amb la forma de la planta de l'esquí. Això es fa amb més precisió mitjançant l'ús d'una plantilla. Les eines de tall poden variar des d'un simple ganivet fins a un router. El gruix de la base ha de ser d'aproximadament 1 – 1.5 mm.

S'uneix fortament la plantilla sobre el material de la base mitjançant cinta de doble cara i pinces. A continuació, es procedeix a realitzar el tall, cal tenir en consideració que depenent del tallador, és possible que s'hagi d'ajustar la mida de la plantilla per tal de tallar el material de la base amb les dimensions desitjades. En el cas d'emprar un router és necessari compensar el diàmetre del rodament de la bola. La figura 29 mostra un exemple de reducció de la plantilla de 8mm:

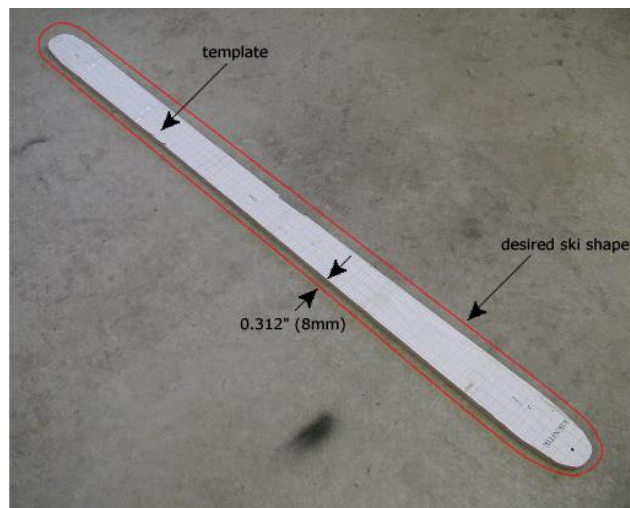


Figura 31 Planta de l'esquí i plantilla reduïda (Skibuilders)

Depenent de l'eina de tall emprada, la profunditat de tall, la velocitat de tall i altres factors, es poden formar arestes en la base. S'usa una fulla afilada per retallar l'excés de material i un paper de llimar per proporcionar un acabat adequat a la base.



Figura 32 Base retallada de l'esquí (Skibuilders)

4) Tall i unió dels cantells a la base

Es talla una longitud de cantells d'aproximadament el doble de la longitud de l'esquí, una tira a cada banda.

Cal doblegar els cantells per tal que s'adaptin perfectament a la curvatura del material base, sense deixar cap buit. D'altra banda, els cantells estan temperats per augmentar la seva duresa i durabilitat la qual cosa dificulta la flexió del cantells, per això s'acostuma a treballar amb l'ajuda d'una corbadora.

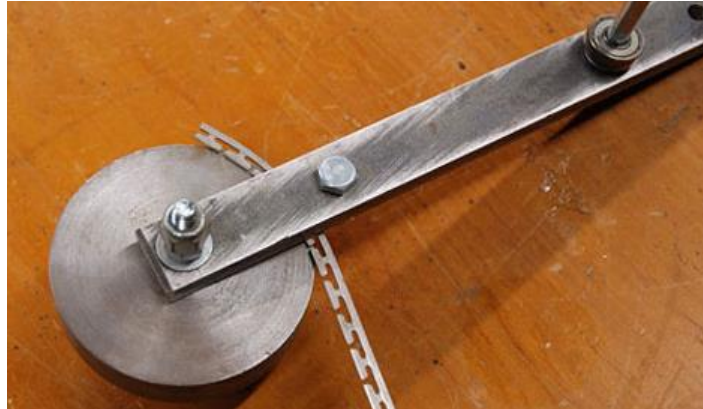


Figura 33 Corbadora de cantells (Skibuilders)

Una altre tècnica per facilitar la treball amb els cantells és escalfar-los, tot i que si es fa de forma excessiva pot afectar la seva resistència, pel que només s'aplica en les parts properes a la punta i la cua de l'esquí on és requereix una curvatura més marcada. Cal deixar que es refredin gradualment, ja que accelerar el refredament endureix el metall i dificulta encara més la flexió a mà.

S'adjunten els cantells sobre el contorn del material base amb l'ajuda de cola líquida, disposada cada 10 - 15cm, i abraçadores que subjecten els cantells fins que l'adhesiu faci efecte. A les espàtules es posa una quantitat més abundant de cola, amb separacions de 3-5 cm, ja que aquestes zones es sotmeten a un major estrès quan l'acció de la premsa i el motlle les deforma. A més de l'acció de la cola, la resina utilitzada més endavant per a la unió de les capes filtrarà entre les dents i el material base per enfortir l'enllaç.



Figura 34 Unió dels cantells a la base (Skilab)

A continuació, es cobreix la cara inferior de la base amb cinta adhesiva per protegir-la de l'epòxid i es neteja la superfície per incrementar la cohesió. Finalment, es passa una fulla entre la base i els cantells per esquarterar la cinta adhesiva i permetre que l'epòxid flueixi a través de l'espai entre la base i els cantells.

5) Preparació de la resina

Seguidament s'ha de barrejar la resina amb l'enduridor durant 2 minuts. És molt important preparar només la dosi que es vagi a usar de forma immediata ja que un cop sobrepassada la vida del pot, l'epòxid queda inservible. Així doncs, aquest pas s'haurà d'efectuar en l'instant previ a la unió de cada capa.

6) Superposició de capes

Un cop s'han preparat totes les capes es procedeix a sobreposar-les en l'ordre descrit a continuació.

1. El primer pas és enganxar la base amb els cantells a la superfície del motlle, normalment amb cinta adhesiva de doble cara, per evitar que es mogui durant el premsat.
2. S'aplica la primera pel·lícula de resina distribuint-la homogèniament amb l'ajuda d'un raspall.
3. Tot i que és opcional, s'acostuma a cobrir la part superior dels cantells amb uns protectors de goma de VDS o un material similar que amorteix les vibracions. En aquest cas, s'impregna també amb resina, la part superior d'aquest material per assegurar que la següent capa s'adhereixi a la base.
4. La capa de composite, normalment de vidre, es disposa sobre la base. Té un gruix d'aproximadament 2 mm. El material sobrant es tallarà més endavant, pel que no cal que la fibra es talli amb la mateixa amplada que la base. De vegades, sobretot en els esquis moderns, s'empren també algunes tires de fibra de carboni per reforçar la zona on es situen les fixacions.
5. La següent capa és el nucli amb les proteccions laterals sobre el que s'uneix una segona capa de fibra amb l'ajuda d'una fina capa de resina. També es recobreixen les espàtules amb els reforços del plàstic escollit.
6. Finalment, tot i que a nivell funcional no és estrictament necessari, es pot afegir una capa de gràfics sobre la que enganxar dibuixos i logotips abans de tancar l'estructura de sandvitx amb la capa superior o topsheet. Tal i com s'ha fet amb la base, és recomanable cobrir aquesta darrera fulla amb cinta adhesiva per impedir que s'enganxi la resina.

La figura 35 mostra un exemple de la disposició de les capes que poden formar el sandvitx d'un esquí. De dalt a baix són: poliamida per als gràfics, primera capa de fibra de vidre, nucli de fusta amb proteccions laterals d'ABS i reforços de titani per a la zona de les fixacions, segona capa de fibra de vidre, base amb cantells d'acer adjunt i base de VDS i nano grafit.

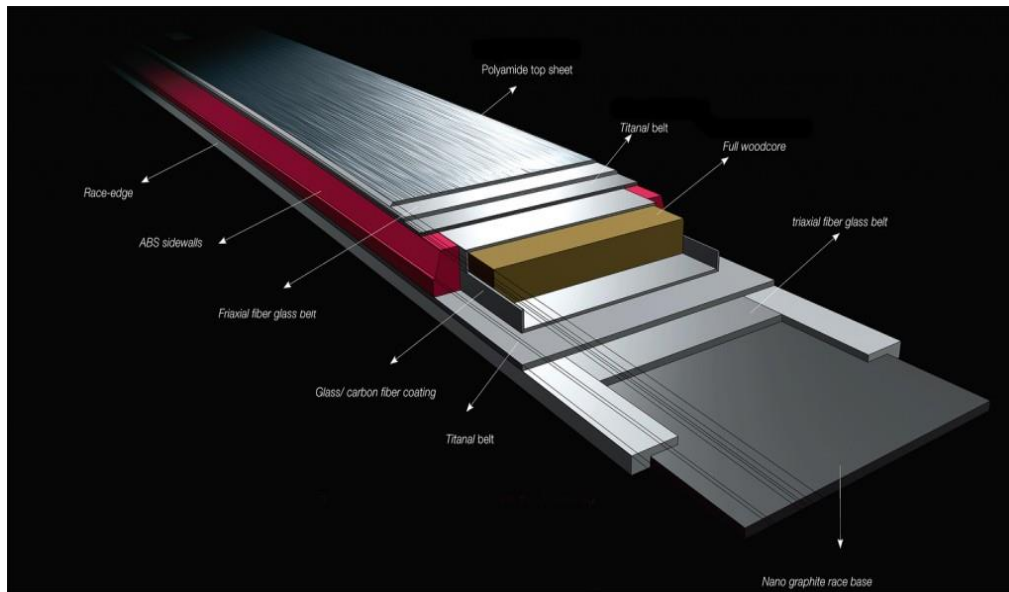


Figura 35 Sistema sandvitx i les diferents capes (Skilab)

D'aquesta manera, el sandvitx de materials està llest per ser introduït al motlle i procedir al premsat.

c) Sistema de premsa

Per a la construcció de qualsevol tipus d'esquí és necessari aplicar una pressió elevada i uniforme en la última fase del procés d'acoblament, per tal d'aconseguir una forta cohesió entre les diferents capes materials que formen la peça.

La pressió s'aplica a la part superior i inferior del sandvitx de materials fins que la resina epòxid entre capes cura completament. Augmentar la temperatura, accelerarà l'acció de la resina i millora els resultats. Depenent del sistema emprat i la temperatura a la que es realitzi el premsat, el procés pot trigar des de menys de 30 minuts a 100 C° fins a més de 15 hores a 40 C°.

Aquesta pressió, té també la funció de donar curvatura a l'esquí transmetent el camber i el rocker, dissenyats prèviament, en el motlle que el conté

En els processos artesans existeixen tres tipus de sistemes de premsa: premsa tipus pinça, sistema de buit, premsa pneumàtica.

En funció del temps i pressupost del que es disposi es triarà un mètode o altre. A continuació es descriuen aquestes tres tècniques.

- Premsa tipus pinça

Consisteix en aplicar la pressió directament a través del motlle, de manera que no és necessària la construcció d'un sistema de premsa addicional, sinó que s'utilitzen el propi negatiu i positiu del motlle com a tal. Les dues tapes s'uneixen comprimint el sandvitx de materials disposat entre elles. La força d'unió del motlle es pot aplicar mitjançant diferents tècniques incloent perns, corretges d'amarratge de trinquet o gats hidràulics.

Tot i que es el mètode més senzill i assequible de construir, té poca precisió a l'hora d'assegurar una pressió uniforme al llarg de l'esquí i és complicat regular i determinar la pressió que està essent aplicada.

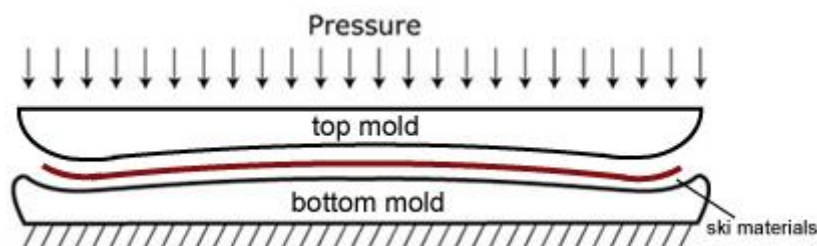


Figura 36 Sistema de premsa tipus pinça (Skibuilders)

- Premsa amb sistema de buit

Tal i com el seu propi nom indica, es basa en el principi de pressió al buit o pressió negativa. Aquest sistema només requereix la part inferior del motlle. Es cobreix tot amb un teixit porós i una manta per deixar sortir i absorbir l'excés de resina i la tapa superior es substituïda per un film de plàstic que cobreix i tanca hermèticament el negatiu, els materials de l'esquí i la boca del tub d'escapament. Tal i com es mostra a la figura 37.

Seguidament s'extreu l'aire de l'interior de la bossa amb una bomba de buit, el qual crea una pressió d'aproximadament 1 atm (0.1 MPa) que comprimeix l'esquí. Es manté el buit durant 15 hores i a una temperatura d'aproximadament 70C° per aconseguir una perfecta catalització

En la seva major part, aquest tipus de premses són relativament fàcils de construir i aporten una pressió uniforme. Cal disposar d'alguns materials específics, però no suposa un cost superior als 500 euros i alguns d'ells són reutilitzables. No obstant, tenen com a inconvenients una pressió limitada i problemes relacionats amb la formació d'arrugues i bombolles a l'interior del film.

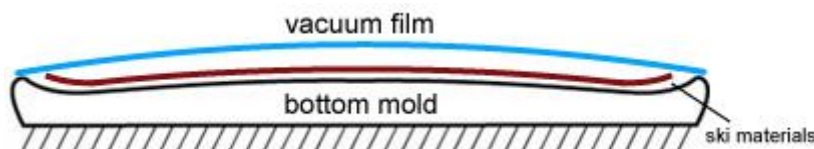


Figura 37 Sistema de premsa al buit (Skibuilders)

- Premsa pneumàtica

Aquest tipus de premsa es el més comú en la indústria de l'esquí. Degut a la elevada pressió que aquest tipus de premsa es capaç de generar, dona els millors resultats. Consisteix en col·locar una mànega capaç de contenir aire a alta pressió, a sobre del sandvitx de materials que formen l'esquí, situar el conjunt a l'interior del motlle i tancar-lo al seu torn amb un sarcòfag de metall com el que es pot observar a la figura 38. Finalment, només cal inflar la mànega amb una bomba a pressió, el sarcòfag actuarà de topall per evitar la separació del negatiu i positiu.

La construcció a premsa pneumàtica és difícil i sofisticada en comparació amb els altres sistemes de premsa, a més de ser el mètode més car, ja que l'obtenció d'un esquí mitjançant aquest mètode pot suposar un cost de fins a 3500 €. No obstant, permet fabricar diversos exemplars i s'obtenen esquís de major qualitat degut a que permet treballar a major temperatura i aplicar una pressió més elevada i uniforme.

Aquests sistemes de premsa treballen amb pressions màximes d'aproximadament 3.5 atm. Per evitar problemes de seguretat cal augmentar la pressió de forma progressiva i inspeccionar constantment el seu correcte funcionament per localitzar possibles danys durant l'operació

Normalment, en la fabricació d'una premsa pneumàtica, primer es construeix el sarcòfag i seguidament es dissenya i s'acobla el motlle i la mànega per completar la premsa.



Figura 38 Sarcòfag de metall (Youtube)

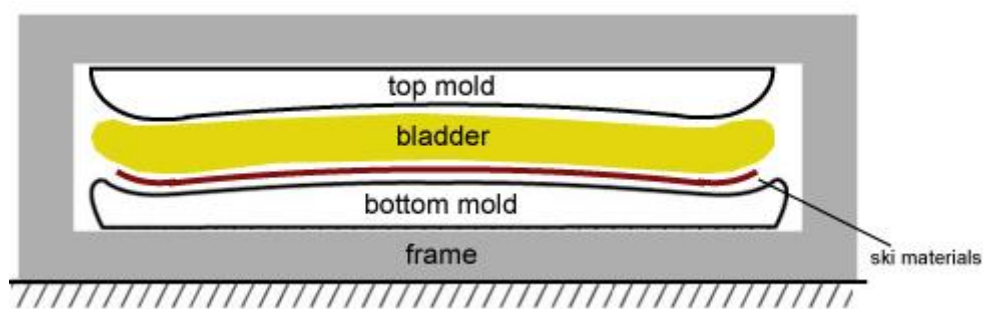


Figura 39 Sistema de premsa pneumàtica (Skibuilders)

d) Acabat i serigrafia

Per acabar, es retira la matriu de materials de la premsa i es talla el material sobrant, el contorn format pels cantells de ferro serveix de referència per delimitar l'excident de material. Finalment es poleix la base i s'esmolen els cantells per tal d'augmentar el lliscament i l'adherència.



Figura 40 Acabat de la base i els cantells

Com a darrer pas queda la serigrafia de l'esquí. És un procés purament estètic i no afecta a la funcionalitat de l'esquí, per la qual cosa es citen, de forma breu, algunes de les tècniques més comuns per a l'aplicació artesanal de gràfics en la superfície de l'esquí.

Una tècnica molt popular és l'ús de gràfics d'incrustació, és a dir, adhesius personalitzats. Es poden crear simplement tallant formes de diversos colors del material base i unint-les com un trencaclosques, aquest treball és lent i requereix precisió. Alternativament, tot i que no s'obtenen mitjançant un procés purament artesà, es poden reproduir fàcilment en qualsevol impremta.

Una manera més simple de crear una estètica per a l'esquí són els gràfics dibuixats a mà. No requereixen gaire en termes de material especialitzat o tintes i solament exigeixen que l'obra d'art final s'uneixi bé a l'epòxid. La majoria dels gràfics creats a mà es fan mitjançant l'ús de teles de cotó. Sobre aquest teixit es creen elements addicionals (logotips, imatges, etc.) i dibuixos fets a mà. Finalment, es laminen darrere d'un full de ploma o material base.

5.4.3 Etapes pròpies dels processos de fabricació industrials

La fabricació industrial és la evolució del procés artesà cap a la producció a gran escala, així que en alguns aspectes les diferències no seran massa rellevants, però en alguns altres les diferències poden ser molt importants.

Tal i com s'ha reflectit en l'apartat X el procés de disseny és en gran part igual en els processos artesans i industrials. Però en els industrials hi ha algunes petites diferències com:

a) Disseny

Pel que fa al disseny de l'esquí a la fabricació industrial és bastant semblant al procés que es segueix per dissenyar l'esquí artesanalment, tot i així, es dediquen més recursos en programes de disseny tals com CAD i posteriorment estudis d'elements finits de tipus estàtic, dinàmic i tèrmic per veure com reaccionarà l'esquí en el seu entorn. Evidentment també hi ha un procés previ de recerca pel que fa a l'estudi dels materials a escollir amb programes tals com CES (Diagrames ashby). Tots els estudis previs relacionats amb el disseny de l'esquí al final tenen l'objectiu final de reduir costos al mínim perquè així la producció a gran escala sigui el més econòmicament viable possible.

La fabricació industrial és la evolució del procés artesà cap a la producció a gran escala, així que en alguns aspectes les diferències no seran massa rellevants, però en alguns altres les diferències poden ser molt importants.

Tot i així, en aquest apartat la informació és, per dir-ho d'alguna forma, limitada, ja que les grans empreses mantenen la informació més concreta en secret degut a la forta competitivitat que hi ha en la indústria.

Per aconseguir una informació més extensa ens vam posar en contacte amb Joan Torrella, responsable de producte de la fàbrica de Rossignol que hi ha a Artés (Bages), per provar de visitar-la i que ens expliqués millor com funcionava el procés industrial per a fabricar uns esquís, i ja de passada, veure si en podríem treure algun consell que poguéssim aplicar al nostre procés. Malauradament la visita a la fàbrica no ens va ser concedida, i per tant l'estudi del procés industrial no s'ha realitzat de forma tant detallada.

b) **Motlle**

En aquesta part de la fabricació sí que hi ha una important diferència entre el procés artesanal i industrial. Aquesta diferència es deu a que artesanalment, la fabricació del motlle anirà destinada a construir un nombre limitat de parells d'esquí, i per tant no té molt sentit gastar massa part del pressupost en construir el motlle, així que com s'ha explicat anteriorment, els motlles artesans acostumen a ser de fusta (material barat).

Industrialment, com es disposa de maquinària pesada, es poden treballar altres materials amb millors característiques que la fusta.

En el procés industrial es pot invertir molt de temps i diners en la fabricació del motlle, ja que tot l'esforç dedicat serà rentable si finalment s'aconsegueix una producció gran d'esquís.

Pel que fa al disseny del motlle, també es realitza amb programes de disseny assistit (CAD) i un cop aconseguides les cotes desitjades, es treballa el motlle amb maquinària de control numèric, arribant així a una precisió molt millor que la que puguem aconseguir treballant la fusta artesanalment.

Un exemple de motlle industrial és el motlle d'alumini. D'un bloc d'alumini se'n pot fer un motlle amb molt poca variabilitat de cotes (construït amb la maquinària adient) i a sobre es tracta d'un material amb bona conductivitat tèrmica, per així al premsar l'esquí, és molt més fàcil aplicar-hi temperatura per a un millor assecat de les resines.

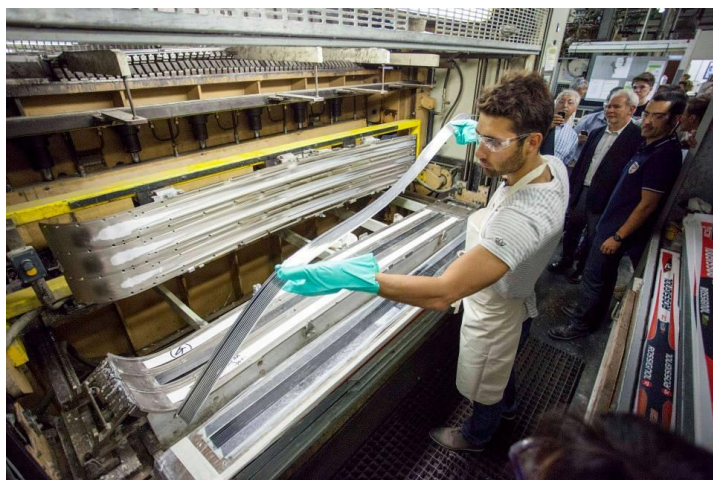


Figura 41 Motlle industrial (Nevasport)

c) Materials i parts de l'esquí

Pel que fa als materials la diferència entre un procés i l'altre no és gaire gran, amb l'avantatge competitiu que la indústria es pot permetre la recerca de materials més tècnics, i per això més cars.

A banda dels materials esmentats a la part artesanal (Resines, fibres, el nucli i la base), els grans fabricants actuals d'esquís proven cadascun amb diferents tipus de nuclis o bases, per exemple, *Atomic* fa servir llistons de magnesi, titani i carboni units entre si per donar major rigidesa a flexió.

d) Procés d'acoblament

El procés d'acoblament en la indústria és, de lluny, el que més diferència suposa davant de l'acoblament fet artesanalment, ja que industrialment s'han d'acoblar un gran nombre d'unitats en un període de temps relativament curt. I com s'aconsegueix aquesta alta productivitat? Doncs amb la maquinària industrial tal com les cintes transportadores, robots industrials, processos en sèrie i la mínima mà d'obra possible.

Tot i així, els processos que realitza la maquinària són els de conformació de tots els materials que posteriorment la mà d'obra, sempre imprescindible, acoblarà sobre el motlle.

e) Sistema de premsa

El sistema de premsa és totalment diferent en termes de disseny i construcció al sistema de premsa artesanal, ja que industrialment es destinaran molts més recursos en construir un bon motlle d'un material diferent a la fusta (alumini per exemple, bon transmissor de calor com s'ha esmentat anteriorment) per aplicar-hi la pressió. Industrialment, gràcies a la maquinària s'hi aplica molta més pressió i a sobre, per eliminar tots els residus de la resina epoxy, altes temperatures. Mentre que el premat artesanal durarà unes quantes hores, a una fàbrica d'esquís només necessitaran 15 minuts per deixar els esquís premats i cuits.

Una altra diferència significativa és que les premses són més grans i d'una tirada es poden premsar més d'un parell d'esquís.

f) Acabat i serigrafia

Pel que fa a l'acabat (l'extracció de tot el material sobrant) industrial, no es pot fer d'una tirada o amb una sola màquina, sinó que es necessitaran diversos passos, i per tant, un seguit de màquines amb el seu procés en sèrie, el qual va polint les diferents parts de l'esquí.

Després d'aquest procés en sèrie l'esquí ja queda amb l'acabat que els usuaris veiem a les botigues: els cantells afilats, la base de polietilè llisa, la cara superior envernissada tots els elements de protecció ja muntats.

I pel que fa a la serigrafia les diferències també són palpables. En primer lloc, una fàbrica gran d'esquís tindrà una serigrafia (o "dibuix") per a cada model diferent amb el logotip de la marca corresponent. Hi ha principalment dos processos que estan totalment industrialitzats i es coneixen com a impressió de pantalla i impressió per sublimació; el primer és el més popular, es tracta de separar les imatges que es vulguin imprimir per colors en diferents plantilles que després s'aplicaran a la capa superior (*topsheel*). El segon procés tracta d'unes tintes especials que mitjançant temperatura s'enganxen a la base del material. Tot el que es necessita és una impressora, tinta de sublimació i una premsa capaç de calentar-se.

6 DESENVOLUPAMENT DEL PROTOTIP

6.1 Especificacions del prototip

Dins de la gran varietat d'esquís que hi ha en l'actualitat, el nostre objectiu és centrar-nos en l'obtenció d'un prototip que sigui el més fidedigne possible als que es poden trobar al mercat actual.

Així doncs, per a determinar les especificacions geomètriques del nostre prototip, ens hem basat en les d'un exemplar ja existent per tal d'assegurar que el disseny sigui factible d'una banda i facilitar l'anàlisi dels resultats finals de l'altre.

6.1.1 Esquí de referència

Per tal de tenir un model en el qual referenciar-nos i que serveixi de base per a establir una idea aproximada del futur prototip que es vol obtenir, hem seleccionat un model que s'adequa a les nostres pretensions, els **atòmic Backland 102 fr**. L'objectiu es obtenir uns esquís amb les especificacions el més semblants possibles a les d'aquest model.

La raó d'aquesta elecció es deu, principalment, a dos motius:

El primer motiu és que són uns esquís de freeride molt polivalents. Tenen una flotació molt bona per la neu verge i un excel·lent comportament per la pista. La mateixa marca atòmic els defineix com uns esquís tant adients per un dia de fora pista amb difícils condicions com per un dia “de passeig” més tranquil. La variada meteorologia que es dona a les muntanyes on nosaltres acostumem a practicar aquest esport, com els Pirineus, ens han portat a tractar aquesta propietat de polivalència com a prioritària.

A més, és un esquí que compleix el nostre rang de **sol·licitacions tècniques**, presentades tot seguit:

a) Modalitat d'esquí

Amb l'objectiu de definir les especificacions òptimes a les que volem aspirar, cal definir en primer lloc la modalitat de esquí que voldrem practicar amb el prototipus final.

Com hem explicat, les zones on acostumem a esquiar es caracteritzen per presentar condicions molt variades durant la temporada, també en quan al volum de neu.

Per tant, hem decidit fabricar uns esquís que ens permetin gaudir del fora pista, però sense tancar l'opció a l'esquí convencional per les pistes.

Tal i com s'ha esmentat anteriorment a l'apartat de modalitats d'esquí, els destinats a fora pista acostumen a tenir unes mesures més grans que els de pista. En aquest sentit, els esquís de la modalitat de freeride són els més adients.

D'altra banda, donat que volem combinar l'ascens i el descens, ens interessa obtenir un esquí amb les cotes pròpies de l'esquí de muntanya, ja que els exemplars d'aquesta modalitat es caracteritzen per ser més lleugers i amples que els models de la resta de modalitats.

L'esquí de referència esmentat és un híbrid entre totes dues modalitats de manera que redueix l'esforç en l'ascens i augmenta la flotabilitat sobre neu verge durant el descens.

b) Nivell tècnic

Les mesures de l'esquí també depenen molt del nivell que té l'esquiador. El debutant s'haurà de conformar amb uns esquís que li permetin maniobrar fàcilment i l'esquiador experimentat podrà escollir uns esquís que el permetin fer girs més agressius amb més velocitat.

Com en el nostre cas podem considerar que tenim un nivell alt, l'elecció del prototip de referència ens dona les condicions de flexibilitat, flotabilitat i radi de gir adients.

c) Físic

Com s'ha comentat anteriorment, el físic (alçada i pes) de l'esquiador també és una característica fonamental per triar l'esquí.

En el nostre cas podem dir que existeix una diferència d'alçada i pes, tot i que no és massa gran, el model escollit té unes característiques que el fan susceptible de ser usat per tots dos.

La figura 42 mostra un resum de les sol·licitacions considerades per escollir les característiques geomètriques del prototip.

Modalitat	Nivell tècnic	Característiques físiques
Combinació entre les modalitats d'esquí de muntanya i freeride.	Alt	Alçada (cm): 177 – 183 Pes (kg): 65 - 75

Figura 42 Resum de les sol·licitacions

El segon motiu, que ha decantat la balança cap a l'elecció d'aquests esquís, és que es disposa d'un exemplar real i això ens dona la possibilitat de tractar i provar amb ells dins del possible. Aquest ha estat un avantatge molt bo a l'hora de guiar-nos per fer el disseny i poder prendre mesures directament de l'esquí.

Respecte a les característiques de conformació de l'esquí de referència, aquest té un nucli de fusta d'álber i una estructura basada en fibra de carboni, a banda dels components habituals de polietilè i composite de fibra de vidre. Tot i això, aquest model només s'ha elegit com a referència per a la determinació de les especificacions geomètriques, de manera que no s'han tingut en consideració els materials pels que està compost.

6.1.2 Elecció del model de l'esquí de referència:

Existeixen diferents models al mercat del nostre esquí de referència. Per al model de 188 cm de llarg, les mesures d'amplada principals són 102mm de pati (part central), 132 mm a la punta i 123 mm a la cua. El radi de gir, que va lligat a les característiques geomètriques, serà en aquest cas de 22m. Aquestes especificacions de les dimensions venen donades, depenent de la longitud de l'esquí, tal i com mostra la següent taula.

Longitud (cm)	164	172	180	188
Amplada punta (mm)	129	130	131	132
Amplada cintura (mm)	102	102	102	102
Amplada cua (mm)	120	121	122	123
Radi de gir (m)	16	18	19	22

Figura 43 Especificacions respecto a la longitud de l'esquí

Tal i com s'ha comentat, algunes de les característiques geomètriques de l'esquí, depenen de la modalitat i el físic de l'esquiador. La figura 44 mostra relació aproximada de l'alçada de l'esquí i l'alçada de l'esquiador per a cada modalitat.

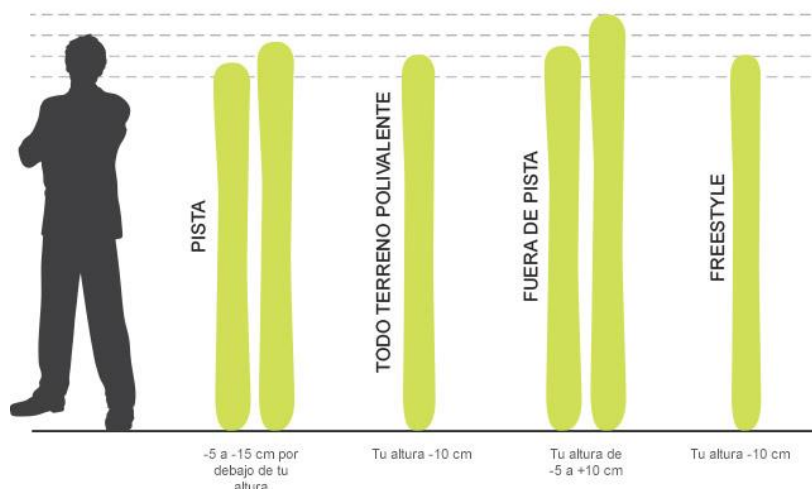


Figura 44 Relació entre longitud d'esquí i alçada esquiador (Decathlon)

La figura 45 mostra una altre referència de la relació entre el pes i l'alçada de l'esquiador i la seva talla d'esquís òptima.

PES (Kg)	ALÇADA (cm)	Longitud de l'esquí suggerida (cm)	
		Nivell avançat	Nivell intermig
27	130	124	114
32	137	132	122
39	145	140	130
45	152	148	138
52	160	156	146
59	168	164	154
66	175	172	162
73	183	180	170

Figura 45 Longitud dels esquís recomanada en funció de les característiques físiques de l'esquiador (Forward)

Tenint en consideració tot l'esmentat anteriorment, s'ha definit les especificacions finals desitjades per al prototip.

a) Longitud

Donat que nosaltres tenim unes alçades de 177cm (Jaume) i 183cm (Adrià), un nivell avançat, i els esquís els volem construir per a fora pista, hem arribat a la conclusió que el més adient és una longitud de 185cm.

b) Amplades

Les amplades s'han definit a partir de la longitud tot just determinada, per tal de mantenir les proporcions reflectides en la figura 43.

Punta: 132mm Cintura: 102mm Cua: 122mm

c) Arqueig

Per a la modalitat de fora pista un aspecte molt important és l'arqueig (el perfil) de l'esquí. El model de referència té un doble camber/rocker, és a dir, que a les espàtules de l'esquí tindrà rocker i a la part central camber. Com veiem a la imatge, les mesures del doble rocker seran 20/70/10. El percentatge de camber significa que el 70% de la superfície de l'esquí serà la que estigui en contacte amb la neu un cop hi hagi pes sobre la fixació. Com ens basem en aquest esquí intentarem plasmar sobre el motlle aquests valors el més fidelment possible.

La figura 46 mostra l'arqueig de l'esquí de referència.

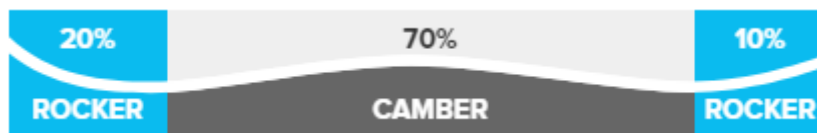


Figura 46 Rocker i camber (Atomic)

d) Pes

El pes també és una part important per la modalitat de l'esquí de muntanya ja que no només es practica el descens, sinó també l'ascens, i quan menor sigui el pes dels esquís més còmode serà la pujada. Aquesta característica és important però per a nosaltres serà secundària, és a dir, a l'hora de fabricar intentarem reduir al màxim el pes, però la resistència de l'esquí serà prioritària. Tot i que el pes del nostre model de referència és de 1750 grams, en principi no optem a assolir aquest nivell de lleugeresa donat que aquests estan confeccionats amb fibra de carboni, un material amb una densitat de només 1750 kg/m^3 i amb molt bones propietats mecàniques però poc accessible i que requereix mètodes de fabricació molt sofisticats. Mentre que el material bàsic empleat per al nostre prototip serà la fibra de vidre amb una densitat de 2580 kg/m^3 el que comporta un 50% més de pes respecte a la fibra de carboni. Així doncs, establim un pes objectiu equivalent al 50% més del pes del nostre model referència que és de **2625 grams** i un pes màxim de 3000 grams.

Per tant, i a mode de resum, les sol·licitacions de l'esquí que s'han pres finalment per a la fabricació del nostre prototip són les següents:

- **Longitud:** 185 cm d'extrem a extrem
- **Amplada:**
 - Punta: 132mm
 - Cintura: 102mm
 - Cua: 122mm
- **Arqueig:** rocker davanter/ camber/ rocker de la cua 20%/70%/10% (percentatge de curvatura respecte el total)
- **Pes:** 2625 grams

6.2 Selecció i justificació del mètode de fabricació

Tal i com s'ha estipulat als objectius del projecte, la intenció ha estat basar el mètode de fabricació en processos purament artesans. No només perquè permet aprendre les diverses etapes del sistema de fabricació d'un esquí de forma més detallada que si realitzéssim la fabricació emprant maquinària industrial, sinó també, per la impossibilitat d'accedir a aquest tipus de tecnologia.

La selecció del mètode de fabricació s'ha basat doncs, en la seva major part, en la investigació sobre els processos de fabricació artesanals, duta a terme en l'apartat sobre l'estat de l'art.

No obstant això, algunes decisions del procés, s'han vist condicionades per l'escassa accessibilitat als recursos que s'empren habitualment en la fabricació d'aquest tipus d'artefactes.

Com s'ha explicat al capítol de l'estat de l'art, tret d'algunes etapes que es poden executar amb diferents metodologies, la major part dels processos de fabricació artesanals són comunes. Tot i que en algunes de les fases s'han realitzat adaptacions per solucionar els problemes que s'han presentat.

A continuació es detalla el procés de fabricació emprat.

6.2.1 Disseny de l'esquí

El disseny de l'esquí ha consistit en dues parts ben diferenciades descrites a continuació:

- Disseny de la planta

El disseny de la planta s'ha realitzat mitjançant un procés molt senzill. Donat que les especificacions desitjades per al nostre esquí es basen en un model de referència, s'han mesurat les cotes necessàries per a que la planta d'aquest quedi completament definit i s'han plasmat en el programa de disseny gràfic SolidWorks.

Tal i com ja s'han definit prèviament a les especificacions, els valors d'aquestes cotes són:

- Angle de sortida o de divergència: **87,9°**
- Turning radius o radi de gir: **22m**
- Amplada màxima de la punta: **132 mm**
- Amplada màxima de la cua: **122 mm**
- Waist width o patí: **102 mm**
- Longitud: **1850 mm**

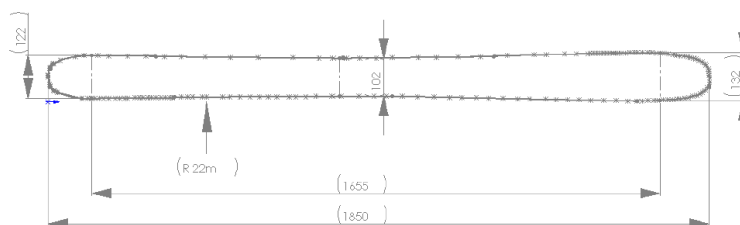


Figura 47 Disseny de la planta

- Disseny del perfil o vista lateral

De entre les diverses formes de dissenyar esmentades en l'estat de l'art, s'ha optat per fer-ho mitjançant l'obtenció de punts del perfil (vista lateral) d'un exemplar real (exemplar de referència), transposant aquests en paper mil·limetrat, com s'observa a la figura 48



Figura 48 Disseny del perfil de l'esquí mitjançant paper mil·limetrat.

D'entre les diverses formes de dissenyar un esquí, S'ha optat per aquesta tècnica per diverses raons. D'una banda, donat que es basa en les mesures d'un esquí ja existent, assegura l'obtenció d'unes característiques geomètriques factibles. D'altra banda, augmenta la precisió en l'obtenció del traçat desitjat, ja que abasta una major quantitat d'informació repartida en una major quantitat de mesures que altres mètodes de disseny.

Així doncs, s'han introduït finalment un total de 150 punts en el programa de disseny gràfic SolidWorks i s'han unit mitjançant splines, obtenint així un traçat que emula de forma força precisa el perfil desitjat.

Donat que l'exemplar de referència es 5 cm menor del desitjat, s'ha augmentat l'escala del dibuix gràfic amb un factor de 1,0277 per tal d'obtenir un traçat proporcional i amb 1850 mm de longitud.

D'aquesta manera s'ha obtingut un perfil amb característiques geomètriques molt aproximades a les determinades en l'apartat d'especificacions.

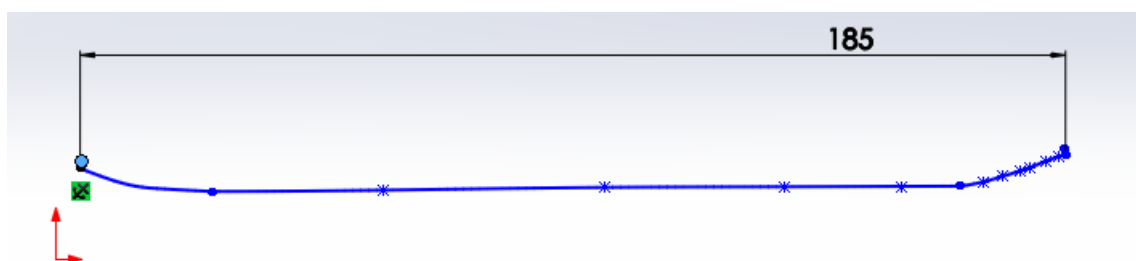


Figura 49 Disseny preliminar del perfil del prototip

El primer pas del procés de fabricació ha estat l'obtenció del motlle. Donat que la forma final de l'esquí depèn del nivell d'elaboració d'aquest, en aquesta fase s'ha treballat amb especial dedicació i deteniment.

Així doncs, el disseny del motlle està condicionat per la geometria que es desitja obtenir però també, tot i que en menor mesura, pel sistema de premsa utilitzat d'entre les diverses opcions detallades més endavant. Aquesta segona decisió pot comportar la necessitat de fabricar un positiu o "tapa" per a la base del motlle, com ha estat en el nostre cas.

Tot i això, l'obtenció del positiu del motlle no ha implicat una càrrega de treball addicional, ja que, donat que només influeix en la homogeneïtzació de la força aplicada per la premsa al llarg de l'esquí, no s'ha realitzat un disseny propi per aquesta part, sinó que s'ha obtingut de forma simultània a la base del motlle. A continuació es descriu el procés de fabricació d'aquesta, dividida en tres subetapes.

1) Disseny del perfil del motlle

Tal i com s'ha comentat anteriorment en l'apartat de processos de fabricació artesanals, és recomanable exagerar, en el motlle, les cotes de l'esquí desitjat per tal de compensar la recuperació elàstica. No obstant, per tal de facilitar el procés i donat que degut a la falta de experiència en aquest àmbit no ha sigut possible determinar de forma precisa amb quina magnitud es produirà el fenomen de relaxació, s'ha decidit usar les mateixes cotes dissenyades per l'esquí en el disseny del motlle. Únicament s'ha incrementat la longitud del mateix allargant el rocker de la cua i la punta, per tal d'assegurar que el sandvitx de materials encaixa dins el motlle.

Així doncs, s'ha basat el disseny del perfil del motlle en l'obtingut en el descrit en l'apartat anterior pel disseny del propi esquí.

2) Determinació de l'amplada del motlle

Com que l'amplada de l'esquí depèn de com es talli la planta del sandvitx de materials, l'amplada del motlle es indiferent sempre i quan sigui superior a l'amplada màxima desitjada per l'esquí. Així doncs s'ha definit de 150 mm una mica per sobre dels 132 mm d'amplada màxima de l'esquí.

3) Material del motlle

El material del motlle ha de ser fàcil de treballar i capaç de suportar la pressió de la premsa. Donat que totes les fustes compleixen amb aquestes sol·licitacions s'ha escollit la més barata per confeccionar el motlle, l'avet roig.

6.2.2 Fabricació motlle

Un cop s'ha disposat del disseny de la vista lateral del motlle, s'ha imprès el traçat en mida real i s'ha plasmat en una peça de paper-cartró usat a mode de plantilla per tallar els llistons de fusta amb la forma desitjada.



Figura 50 Paper cartró per dibuixar el motlle

S'han tallat 8 llistons de 16mm de gruix, per tal d'assegurar l'amplada predeterminada pel motlle. Per tal d'agilitzar el procés de tallat, no s'ha creat un motlle totalment massís, sinó que s'ha decidit obtenir 6 llistons d'una sola peça, és a dir, sense dividir les espàtules de la part central i 4 llistons amb únicament la forma de les espàtules. D'aquesta manera tal i com s'observa a la fotografia queden parts buides entre les costelles del motlle.

Seguidament, s'han acoblat els llistons amb cola de fusta i s'ha reforçat la cohesió amb quatre barres de mètric 8 tal i com es veu a la imatge.

A continuació, s'ha procedit al llimat de la superfície amb l'objectiu d'anivellar tots els llistons i facilitar el contacte amb la placa superior. La qual s'ha unit a la superfície mitjançant l'ús de 70 claus. La figura 51 mostra el resultat final.



Figura 51 Resultat final del motlle amb el positiu i el negatiu

Tot i que la base del motlle és l'única que influeix directament en la forma final de l'esquí, tal i com s'ha comentat anteriorment, la decisió d'emprar un sistema de premsa pneumàtica, ha fet necessària la creació d'un positiu. Per tal d'agilitzar el procés, s'ha creat unint les parts complementaries als llistons que componen la base del motlle, tal i com es reflexa a la figura 51

6.2.3 Construcció nucli de fusta

Per la construcció del nucli de fusta primer es va adquirir un taulell de fusta per aplicar la tècnica que s'explica al capítol 4 sobre els processos fabricació que consisteix en tallar el taulell en varis llistons i enganxar-los entre ells. Donada la complicació de tallar perfectament recte, vam abandonar la idea i vam decidir comprar llistons ja tallats de diferents mesures:

1r pas: comprar els llistons de faig i d'àlber, mirant sempre que les fibres siguin el més netes possibles (en el sentit que no hi hagi nusos). Quan millors tingui les fibres més resistència tindrà.

2n pas: ajuntar tots els llistons de manera que l'amplada sigui equivalent a la de l'esquí.



Figura 52 Llistons sense unir

3r pas: preparar la barreja de la resina epoxy amb el catalitzador per enganxar-los entre ells (relació de 4:1). En aquest cas com no en necessitem massa posarem 40ml de resina i 10ml de catalitzador.

4t pas: amb el pinzell, repartir la resina per les cares que facin contacte entre elles. L'ordre serà el següent: aplicar resina a la cara dreta del primer llistó i enganxar-lo amb la cara esquerra del segon, aplicar resina a la cara dreta del segon i enganxar-lo amb la cara esquerra del tercer, i així successivament fins que tots els llistons quedin enganxats entre ells.

5è pas: amb els serjants aplicar pressió de forma distribuïda i deixar reposar unes hores perquè enganxin bé.



Figura 53 Nucli de fusta durant el procés d'assecat de la resina

Observació: aquest procés s'ha de fer sense pressa, però sense pausa ja que el temps de treball de la resina és de 15 minuts

Un cop acabat, és important posar el pinzell en dissolvent per evitar que s'assequi amb la resina.

6.2.4 Sistema de premsa

D'entre els tres possibles tipus de sistemes de premsa que podíem escollir, ens hem decantat pel sistema de premsa pneumàtica perquè, tot i comportar un procés de fabricació més complex que els altres dos, també és el que permet adquirir pressions més elevades i repartides de forma més homogènia. A més, aquesta és una de les fases crítiques del procés de fabricació, ja que d'ella depèn la cohesió entre les capes i per tant l'obtenció d'uns millors resultats.

1r pas: foradem les bigues de 90° (4mm de gruix) de forma simètrica a banda i banda amb la broca de M8. Els forats els farem el més pròxim a la fusta del motlle possible, ja que per aquests forats hi passarem les barres d'acer que seran les que faran la força de compressió; que quan més allunyada de l'extrem, menys moment farà sobre la biga i per tant, menys flectarà.



Figura 54 Anclatge del sistema de premsa

2n pas: cada biga tindrà la seva parella, i col·loquem cada parella de bigues de forma equidistant per sobre del motlle per distribuir millor la pressió.

3r pas: unim les parelles de bigues amb una barra per cada costat del motlle. Per subjectar-les entre elles, els hi enrosquem les femelles corresponents.

4t pas: quan es desitja aplicar la pressió sobre l'esquí, enrosquem les femelles contra les bigues de forma gradual.

Per aconseguir una pressió totalment homogènia, inflarem d'aire una mànega amb un compressor, per tal que no s'escapi l'aire l'haurem de segellar de la millor forma possible.

1r pas: obtenció de la mànega. Donat l'elevat preu de les mànegues d'aquestes dimensions, s'ha decidit provar d'anar a un parc de bombers a demanar mànegues velles que ja no utilitzin. Molt amablement, el tinent Manel del parc de bombers de la Vall d'Hebron ens n'aconsegueix una en molt bon estat de diàmetre 11cm.



Figura 55 El Tinent Manuel del parc de bombers de la Vall d'Hebron

2n pas: tallar la mànega a una longitud de 2m.

3r pas: per inflar la mànega, farem un petit forat de M4 per passar-hi la vàlvula d'una càmera de bicicleta de dins cap a fora. A la base de la vàlvula hi posarem Superglue perquè quedi ben unit.

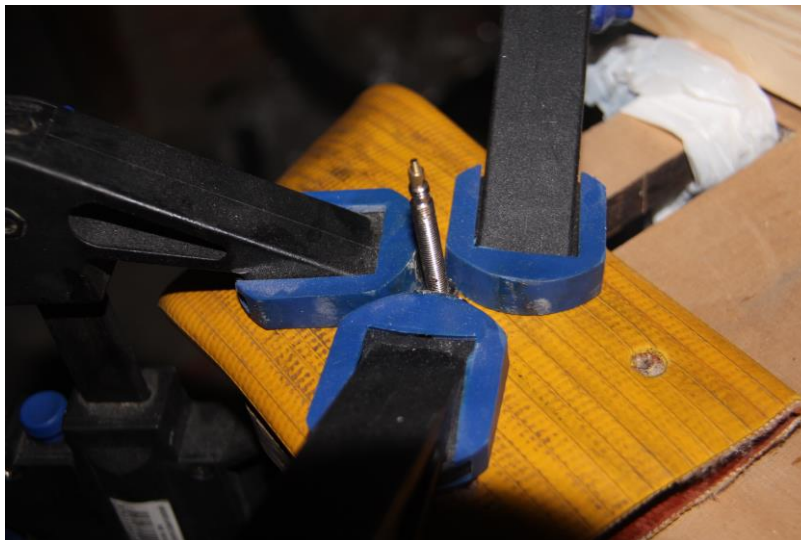


Figura 56 Inserció de la vàlvula de bicicleta

4t pas: segellar els dos extrems tallats. Per aconseguir-ho farem servir dues platines d'acer per cada extrem, que premerem fortament entre elles amb cargols i femelles. Amb un trepant fer dos forats de M10 als dos extrems i passar-hi, per sobre la platina, el cargol i enroscar-lo amb la femella que posarem a l'altra banda.

6.2.5 Procés d'acoblament

Per tal de dur a terme l'acoblament, és important fer una prèvia preparació de les capes que s'acoblaran entre si:

- **Preparació del nucli de fusta:**

De la construcció del nucli de fusta ara en tenim un taulell de 2000x150x10 mm que se li haurà de donar la forma de la planta i el gruix variable del perfil. Per aconseguir-ho necessitarem que ens tallin el taulell amb una màquina de control numèric.

1r pas: posar en un mateix arxiu de SolidWorks la vista de la planta i del perfil. Exportar l'arxiu a .DXF

2n pas: anar a ATTA33, després d'haver demanat data i hora. La màquina estarà treballant durant dues hores.

3r pas: amb el nucli de fusta amb la forma de la planta donada, aprofitarem i li donarem forma a un bloc de poliestirè expandit per treballar millor el polietilè.



Figura 57 Nucli de fusta amb la forma de la planta desitjada

4t pas: tallem les espàtules de l'esquí, ja que aquesta part no hi haurà fusta, i retallem els costats del nucli 1 cm per donar lloc als sidewalls.

5è pas: amb la resina enganxem els sidewalls als cantells del nucli de fusta al llarg de tot el perímetre de la planta.



Figura 58 Unió dels sidewalls al nucli

6è pas: llimem els sidewalls perquè quedin amb la mateixa forma que el nucli de fusta al que estan enganxats, és a dir, perquè quedin amb la forma de gruix variable que té el perfil.

Finalment, per tal de millorar la flexió de l'esquí, s'ha aplicat una última reducció del gruix mitjançant l'ús d'una fresadora, tal i com es mostra a la figura 58, per tal d'aconseguir el perfil del nucli dissenyat prèviament (figura 59)



Figura 59 Reducció del nucli de fusta amb un fresat

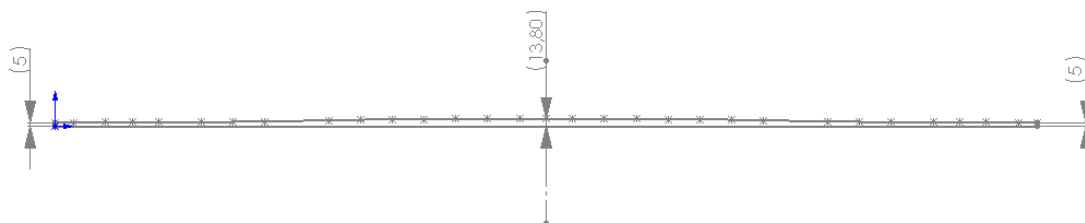


Figura 60 Perfil del gruix del nucli de fusta

- **Preparació de la base de polietilè:**

Com s'ha explicat anteriorment, a la base de polietilè van enganxats els cantells d'acer, així doncs seguirem els següents passos:

1r pas: comencem dibuixant sobre un bloc de porexpan la geometria de la planta per tallar-la amb un cúter i tenir així un model en 3D del nostre esquí.



Figura 61 Passant la geometria al bloc de poliestirè expandit

2n pas: amb el model 3D ens serà més fàcil tallar amb cúter la base de polietilè amb la forma de l'esquí

3r pas: un cop retallades les dues plantes, procedim a enganxar-hi els cantells d'acer inoxidable.



Figura 62 Donant forma a la base de polietilè

4t pas: per a cada planta separarem els cantells en tres parts, les dues espàtules i el nucli, és a dir, tallarem un cantell d'acer inoxidable de 165cm i l'enganxarem a un costat del nucli (part poc corbada) i farem el mateix amb l'altre costat. L'ordre de la operació serà el següent: netejar tota la zona de la base de polietilè i la tira d'acer amb alcohol de cremar; per trams de 15 cm, aplicar cada 5 cm una petita quantitat de Super Glue i prémer amb les mans durant 1 minut per esperar que s'assequi. Passat el minut, premem amb un serjant i pinces el tram treballat, per poder continuar amb el següent tram.



Figura 63 Unió dels cantells a la base

5è pas: un cop adherits els cantells als dos laterals dels esquís, procedim enganxar-los a les espàtules (part molt corbada). Com aquesta zona és més complicada de treballar degut a la forta curvatura, hem d'escalfar els cantells perquè prenguin la forma. Un cop aconseguida la forma, la forma de procedir serà la mateixa que enganxant els cantells laterals.

6è pas: un cop assecat el SuperGlue, retirem els serjants i les pinces.

7è pas: enganxem cinta de doble cara a la cara exterior de la sola, per evitar que s'embruti amb resina i per fixar-la al motlle quan treballem amb ella.

8è pas: per últim, enganxem amb resina sobre els cantells d'acer la cinta de VDS (cautxú).

Un cop preparats el nucli i la base de polietilè, ja podem començar amb l'acoblament.

- **Procés d'acoblament**

1r pas: preparar el motlle, posem el negatiu sobre les bigues que conformaran el sarcòfag, però només la part de baix, ja que encara no volem tancar el motlle amb el positiu.

2n pas: posem un plàstic per sobre del negatiu. Això ho fem perquè així quan apliquem pressió, la resina epòxid sobrant no faci contacte amb el motlle i podria ser problemàtic a l'hora d'obrir-lo.

3r pas: recolzem sobre el negatiu del motlle la base de polietilè amb els cantells i el VDS.



Figura 64 Disposició del VDS

4t pas: estirem la primera capa de fibra de vidre sobre la base de polietilè i li apliquem abundant resina epoxy amb els pinzells, que quedi tot ben impregnat.



Figura 65 Primera capa de fibra de vidre

5è pas: posar sobre la fibra el nucli de fusta. A les espàtules hi posarem un parell de capes de P-tex amb resina entre elles.



Figura 66 Nucli de fusta

6è pas: sobre el nucli de fusta, aplicar la segona capa de fibra de vidre i impregnar de resina, igual que al 4t pas.

7è pas: posar la última capa, la capa superior (topsheet) de Nylon sobre la fibra.



Figura 67 Aplicació de la capa final

8è pas: amb el mateix plàstic que hem protegit el negatiu del motlle, taparem la cara superior de l'esquí pel mateix motiu.

9è pas: sobre totes les capes, estirarem la mànega desinflada.

10è pas: posar el positiu del motlle, i ràpidament acabar de muntar el sarcòfag amb les bigues. Un cop muntat, anar enroscant les femelles per així anar aplicant pressió de forma gradual.



Figura 68 Muntatge del sarcòfag

11è pas: inflar la mànega a 4 atmosferes per així aplicar la pressió de forma uniforme.



Figura 69 Introducció de la manguera sobre el sandvitx de materials

12è pas: deixar reposar 24 hores per que la resina s'assequi bé i totes les capes quedin ben unides entre si.

A continuació es mostra el resultat del sistema de premsa obtingut finalment.



Figura 70 Resultat final del sistema de premsa

6.2.6 Acabat

Després de 24 hores amb la pressió aplicada, totes les capes ja estaran correctament unides i ja podrem desemmotllar. Donada la alta pressió, la resina i les capes de fibra sobresortiran dels “límits” de l’esquí en forma de material sobrant que haurem d’eliminar.

- **1r pas:** desemmotllar. Obrir el sarcòfag i el motlle i treure’n el conjunt de capes.



Figura 71 Desemmotllat del sandvitx de materials

- **2n pas:** amb l’ajuda de la base de polietilè (que delimita perfectament la superfície de l’esquí), serrarem tot el material sobrant que hi hagi. A l’hora de tallar anirem en compte de fer-ho amb una distància prudencial de la base per no fer-la malbé.
- **3r pas:** llimar el material que hagi quedat a causa de la distància de seguretat
- **4t pas:** eliminar la cinta de doble cara que havíem posat prèviament a la base de polietilè.

6.2.7 Inventari d'eines i materials

Dividirem l'inventari general que hem fet servir en aquest projecte en dues parts, les eines usades i els materials emprats.

- **Eines:**

Classificació	Nom	Manual/Mecànica	Observacions
Eines de mesura	Cinta mètrica	Manual	
	Transportador d'angles	Manual	
Eines de traç	Escaire	Manual	
	Cartabó	Manual	
	Regle	Manual	
	Llapis, goma	Manual	
Eines de subjecció	Serjants	Manual	
	Brides	Manual	
	Alicates	Manual	
	Cargol de banc	Manual	
Eines de tall	Tisores	Manual	
	Cutter	Manual	
	Alicates de tall	Manual	
Eines per serrar	Serra de calar	Mecànica	Black and Decker (12V)
	Arc de serra de metall	Manual	
	Màquina de control numèric	Mecànica	
Eines per rebaixar	Llimes	Manual	
	Llima mecànica	Mecànic	
	Enformador	Manual	
Eines de trepat	Trepant elèctric	Mecànic	Bosch
Eines de colpejar	Martell	Manual	
Eines de cargolar	Tornavís	Manual	Pla/estrella
	Claus Allen	Manual	
Eines d'enganxar	Cola blanca	Manual	
	<i>Super Glue</i>	Manual	
	Resina Epoxy	Manual	
	Cinta adhesiva	Manual	Doble cara
Elements d'unió	Cargols	Manual	M8
	Femelles	Manual	M8
	Claus	Manual	

- **Materials:**

- 2 llistons de fusta d'abet roig de 2000x1000x18mm
- Fusta de faig
- Fusta àlber
- 12 Angles d'acer
- 8m cantells d'acer inoxidable amb separació de dents d'1,2 mm
- 4m² Base de polietilè d'alta densitat, gruix 1,2 mm
- 170x13x10mm de Sidewalls d'ABS
- 4m² Capa superior de Nylon, gruix 0,4mm
- 4m² Fibra de vidre triaxial de 2mm de gruix
- 2m Cinta de VDS (Cautxú)
- 8 Barres roscades d'acer

7 ESTUDI I ANÀLISI COMPARATIU DEL COMPORTAMENT MECÀNIC

L'objectiu d'aquest apartat és, d'una banda, estudiar i comparar el comportament mecànic d'un esquí industrial i el del nostre prototip sotmetent-los a un assaig a flexió birecolzat amb les mateixes condicions. D'altra banda es vol determinar el comportament mecànic del prototip mitjançant una simulació del mateix assaig.

Per tal de realitzar l'anàlisi comparatiu s'ha determinat, en els tres casos, el paràmetre de desplaçament vertical màxim (v). A més, amb l'objectiu de determinar el comportament elàstic dels esquís, s'ha volgut calcular el seu Mòdul de Young, però donat que l'esquí està format per diversos materials, caldria calcular la inèrcia equivalent ponderant la inèrcia pròpia de cada capa. Per tal de simplificar l'estudi, i tal i com s'explica més endavant, s'ha limitat a l'obtenció del producte $E \cdot I$, considerant que la inèrcia pren valors molt semblants en cadascun dels tres casos.

7.1 Assaig virtual amb elements finits

Per a procedir amb la simulació el primer que s'ha fet ha estat dissenyar la geometria amb SolidWorks, i seguidament s'ha importat a Ansys Workbench, programa amb el que s'ha realitzat la simulació.

Per tal de facilitar el càlculs s'han realitzat algunes simplificacions:

- S'ha realitzat l'estudi amb una geometria més senzilla consistent en un rectangle de 130mmx1850mm. No obstant, s'ha respectat el gruix variable del disseny de l'esquí
- En quan als materials, donat que no es disposava de les eines suficients per tal de simular el comportament conjunt de la fibra de vidre i la resina epòxid, s'ha obviat la presència d'aquesta capa.

En l'anàlisi dels resultats caldrà tenir aquestes simplificacions en consideració.

Un cop importada la geometria a l'Ansys, s'han usat les condicions d'assaig predeterminades en una simulació de tipus *static structural* (Anàlisi estructural estàtic).

El següent pas ha estat seleccionar i definir els materials amb els que es treballa, el polietilè d'alta densitat (definit a *General materials*) i la fusta d'alber i de faig. Per a definir les propietats del nucli de fusta s'han buscat algunes de les seves característiques crítiques tals com la densitat, el mòdul de Young, el coeficient de Poisson i les resistències a compressió i flexió. S'ha treballat sobretot amb el faig, que és el que té unes propietats mecàniques més definides, però per a la determinació de la densitat s'ha fet una mitjana entre les de l'alber i el faig.

Així doncs, un cop definits el tipus de simulació, la geometria i els materials amb els que es treballa, s'ha definit el model, a la figura 71 es pot apreciar la presentació del programa amb les diferents característiques.

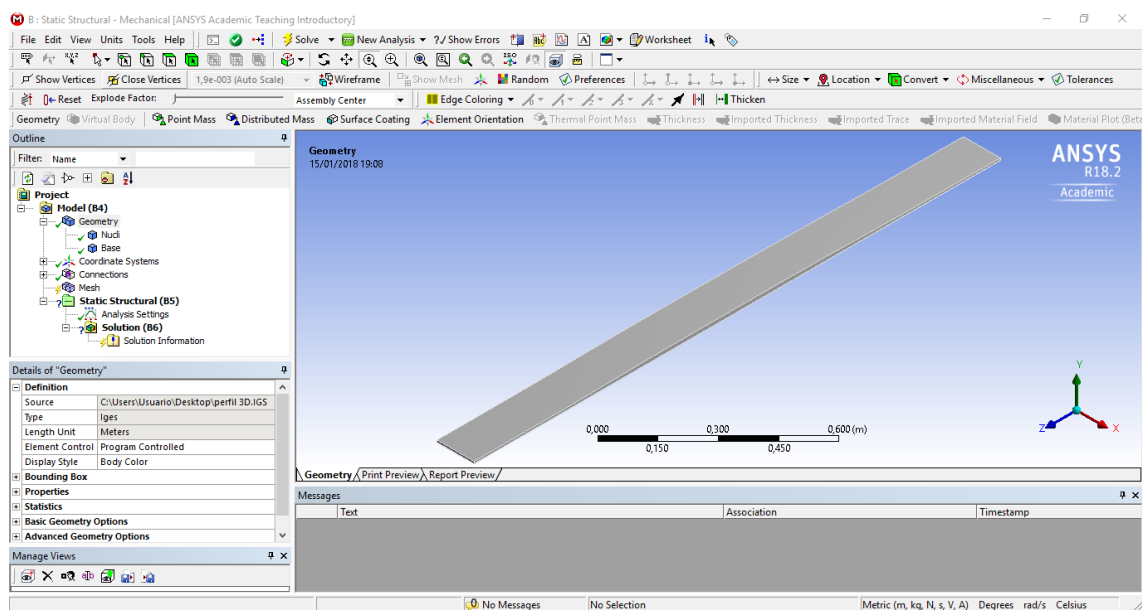


Figura 72 Vista principal del programa de simulació i geometria

A la figura 72 es pot veure com es relaciona cada part de la geometria amb el seu corresponent material. El nucli de faig (haya) i la base de polietilè d'alta densitat.

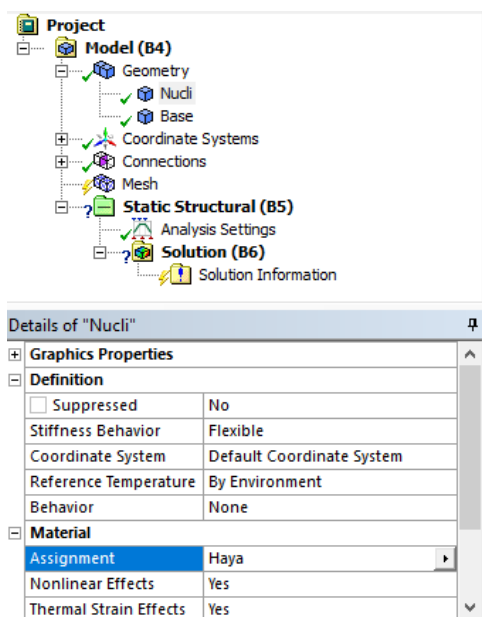


Figura 73 Parts de la geometria i materials corresponents

Seguidament es procedeix a fer el mallat. Donat que es tracta d'una geometria relativament senzilla, el programa te la opció de triar l'automallat" (*automesh*), el qual permet crear els elements més adients de forma automàtica. S'ha modificat la mida d'aquests elements reduint-la al màxim que permet el número de càlculs límit del programa.

A la figura 73 s'aprecia la geometria amb el mallat fet, suficient per captar les deformacions que pateix el prototip.

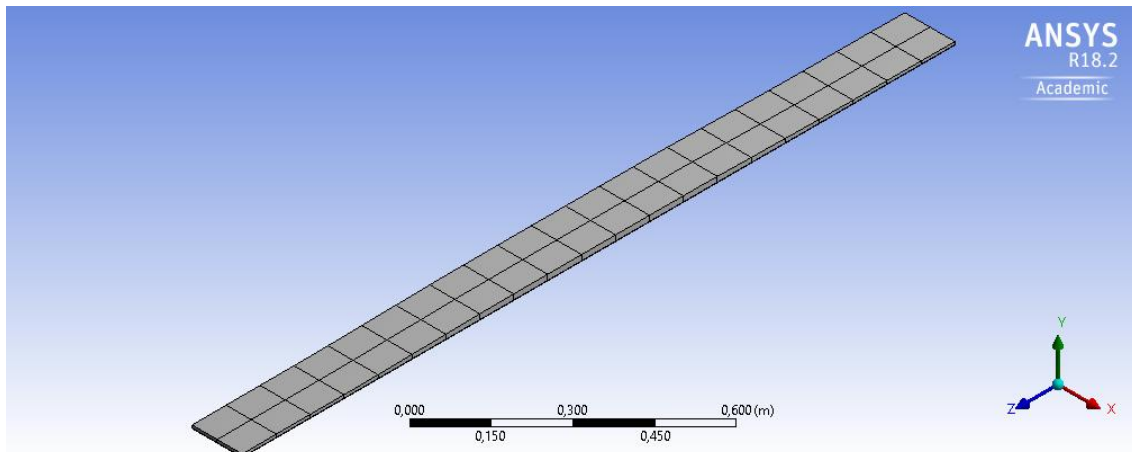


Figura 74 Geometria mallada

El següent pas ha estat aplicar les condicions de contorn i les forces aplicades al conjunt, en aquest cas, donat que el prototip està recolzat pels dos extrems s'han realitzat les següents operacions:

- Fixació de l'extrem, tots els punts tenen desplaçament igual a zero. Figura 74
- L'altre extrem no s'ha fixat igual, s'han aplicat desplaçaments en els eixos X i Y igual a zero, però el desplaçament en l'eix Z és lliure, ja que a l'aplicar la càrrega pot necessitar desplaçar-se en aquesta direcció. Figura 74
- Càrrega de 400 N aplicada al centre de gravetat de l'esquí en direcció y, sentit negatiu. Com es pot veure a la figura 76, es tenen totes les condicions de contorn i la força aplicades a la geometria mallada.

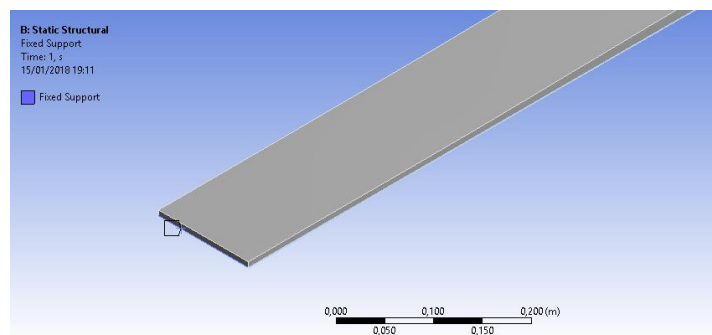


Figura 75 Extrem fixat

Details of "Displacement"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Edge
Definition	
Type	Displacement
Define By	Components
Coordinate System	Global Coordinate System
<input type="checkbox"/> X Component	0, m (ramped)
<input checked="" type="checkbox"/> Y Component	0, m (ramped)
Z Component	Free
Suppressed	No

Figura 76 L'altre extrem, amb desplaçaments X i Y zero, Z lliure

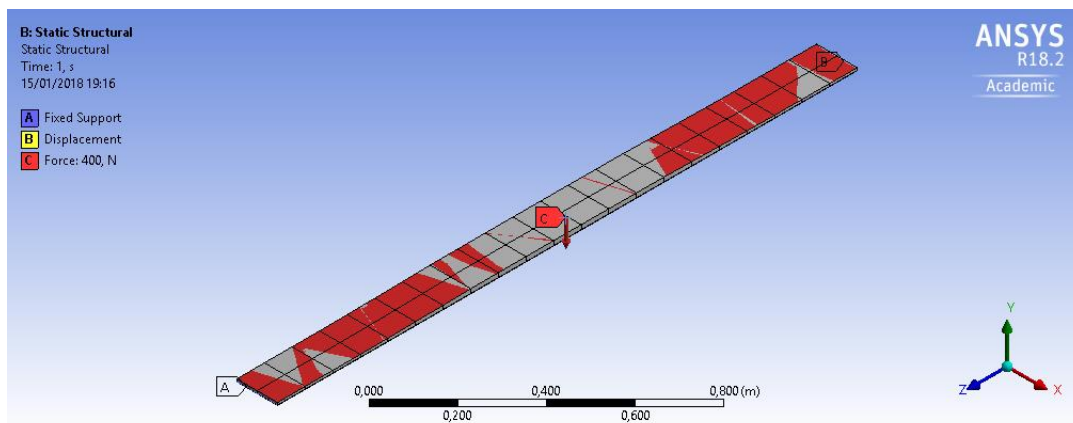


Figura 77 Condicions de contorn aplicades

Per últim, s'ha fet córrer el programa per a trobar els resultats de la deformació que patirà el prototip. A la figura 77 es mostren les zones de màxima i mínima deformació amb l'escala de colors, i al costat esquerre la llegenda amb els valors mínim i màxim (en metres).

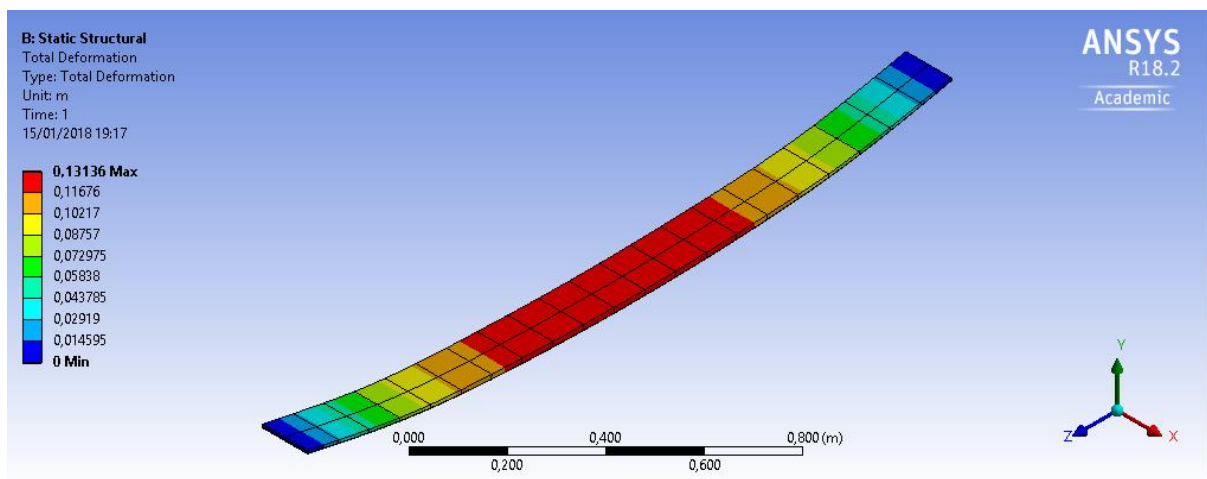


Figura 78 Solució de l'estudi, deformació que pateix el prototip

Amb el resultat del desplaçament màxim $V = 13.13 \text{ cm}$, prenent un valor de $L = 1850 \text{ mm}$, i aïllant de la fórmula 1, s'ha obtingut el valor del producte $E \cdot I = 340.1481 \text{ N} \cdot \text{m}^2$

$$v = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (1)$$

7.2 Assaig real amb esquís de prova

A mode comparatiu, i donat que els dos membres de l'equip disposen d'esquís vells a casa, s'ha decidit fer un assaig a flexió no destructiu al laboratori de resistència de materials amb un parell d'esquís reals.

a) Objectiu

L'objectiu principal d'aquest assaig és el de comparar-lo amb l'estudi d'elements finits i a la vegada amb l'assaig del nostre prototip, i així comparar-ne propietats elàstiques com el mòdul de Young i la resistència a flexió.

Tal i com s'ha mencionat a la introducció, degut a que l'esquí és un material compost de diferents materials, no és senzill calcular un mòdul de Young conjunt, per tant, mitjançant la fórmula (1) podem calcular el producte $E \cdot I$, on E és el mòdul d'elasticitat total, I és el moment d'inèrcia de l'esquí, v és la fletxa (desplaçament), P la càrrega i L la longitud.

$$v = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (1)$$

b) Preparació de l'assaig

Pel muntatge de l'assaig observem a la figura 78 i 79 les diferents parts de la maquinaria emprada:

1. Marc de càrregues
2. Pistó hidràulic de doble efecte
3. Cèl·lula de càrrega (REP TRANSDUCERS, màxim de 500kg de força)
4. Ròtula
5. Repartiment de càrrega
6. Captador de desplaçament potenciomètric (NOVO TECHNIK, TX2, de 200mm de recorregut de mesura)
7. Recolzaments

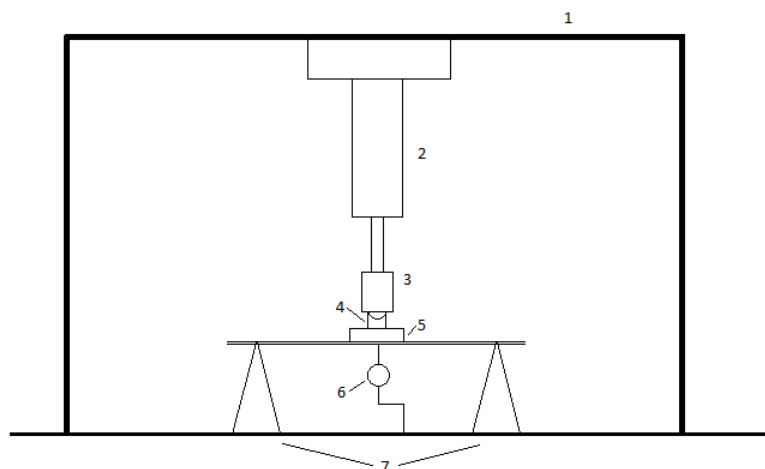


Figura 79 Croquis del muntatge de laboratori



Figura 80 Muntatge del laboratori

Per altra banda, per a poder dur a terme una bona mesura, s'ha fet ús de la instrumentació següent:

1. Amplificador d'extensometria (HBM, Hottinger Baldwin Messtechnik, MGCPlus, ML55B)
2. Condicionador de senyal de desplaçament (de fabricació pròpia del laboratori LERMA, amb una potència de $\pm 5V$)



Figura 81 Sistema de mesura del laboratori

c) Condicions de l'assaig

Es procedeix a fer l'assaig amb les següents característiques:

- Descripció: assaig a flexió birecolzat situant els recolzaments a una distància de 6 cm respecte cada extrem.
- La força màxima serà de 400N (s'ha considerat un pes per persona aproximat de 80kg repartit equitativament entre els dos esquís, és a dir, cadascun suporta 40kg)
- La força aplicada no serà puntual, fem servir el repartidor de càrrega (25cm) per simular així l'acció de la bota.
- Es faran tres assajos per així poder fer una mitjana estadística dels resultats obtinguts.

d) Resultats

Un cop fets els 3 assajos i obtinguts els resultats, podem visualitzar la gràfica Força (N) – Desplaçament (mm) següent:

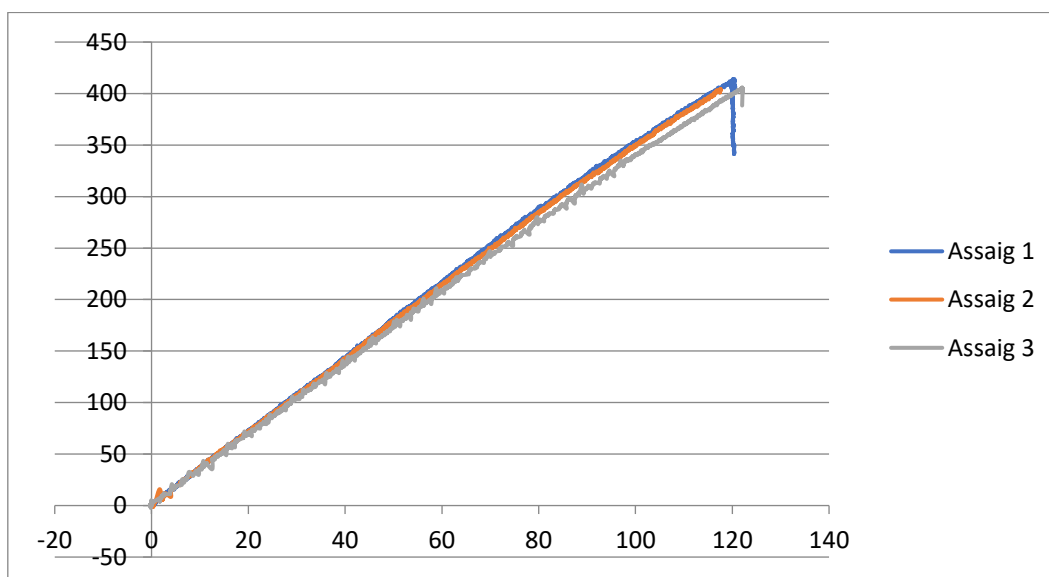


Figura 82 Resultats assaig

També, tornant a la fórmula (1), s'han calculat els valors del producte EI dels tres assajos per a dues forces diferents i s'ha realitzat la mitja:

$$E \cdot I = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot v}$$

Per a $F = 100 \text{ N}$:

	Assaig 1	Assaig 2	Assaig 3
P(N)	100,1033	100,1033	100,7386
L(m)	1,75		
v (m)	0,0280	0,0282	0,0286
EI (N·m ²)	398,6972	395,8849	393,1736

$$EI_{100} = \frac{EI_1 + EI_2 + EI_3}{3} = 395,9186 \text{ N} \cdot \text{m}^2$$

Per a $F = 350 \text{ N}$:

	Assaig 1	Assaig 2	Assaig 3
P(N)	350,2342	350,1255	350,8171
L(m)	1,75		
v (m)	0,0986	0,1002	0,1037
EI (N·m ²)	396,3613	390,1717	377,6609

$$EI_{350} = \frac{EI_1 + EI_2 + EI_3}{3} = 388,0646 \text{ N} \cdot \text{m}^2$$

Per tant, es conclou que el valor del producte E·I total és 391,9916 N·m²



Figura 83 Flexió de l'esquí durant l'assaig

7.3 Assaig al laboratori del prototip

Un cop acabada la fabricació del prototip s'ha posat a prova. S'ha realitzat un assaig al laboratori a fer un assaig amb exactament les mateixes condicions que el realitzat amb els esquis industrials: un assaig a flexió no destructiu birecolzat per les espàtules.

Tal i com s'ha estipulat, l'objectiu principal de l'assaig és comparar-ne els resultats amb els de l'altre assaig i amb els resultats que s'han obtingut de l'estudi per elements finits. Així doncs, un cop més, les principals propietats a comparar seran el producte del mòdul de Young per el moment d'inèrcia ($E \cdot I$), fent servir la fórmula descrita a l'apartat anterior, i el desplaçament màxim (v).

Degut a l'escassa disponibilitat del laboratori de resistència de materials i el fet que la realització d'aquest assaig requereix una inversió de temps notable, juntament amb el fet que, com és evident, aquest assaig no es pot realitzar fins a la fase final del projecte amb la finalització de la fabricació del prototip, s'ha hagut de posposar l'obtenció dels resultats d'aquest test. Aquests es presentaran simultàniament amb la defensa del projecte.

Per a $F = 100 \text{ N}$:

	Assaig 1	Assaig 2	Assaig 3
P(N)	100	100	100
L(m)	1,75		
v (m)			
EI (N·m²)			

$$EI = \frac{EI_1 + EI_2 + EI_3}{3} = \quad \quad N \cdot m^2$$

Per a $F = \quad \text{N}$:

	Assaig 1	Assaig 2	Assaig 3
P(N)	350	350	350
L(m)	1,75		
v (m)			
EI (N·m²)			

$$EI = \frac{EI_1 + EI_2 + EI_3}{3} = \quad \quad N \cdot m^2$$

Per tant, es conclou que el valor del producte $E \cdot I$ total és d'aproximadament $\quad \quad N \cdot m^2$

7.4 Conclusions de l'anàlisi comparatiu

En quan a la simulació, s'ha observat que, tot i les diferències degudes a les simplificacions, els resultats obtinguts són força semblants, si més no del mateix ordre, amb els obtinguts en l'assaig

a flexió de l'esquí fabricat industrialment. A la simulació d'elements finits la deformació patida per una força de 400 N és d'aproximadament 13,13 cm, mentre que a l'assaig a flexió ha estat d'aproximadament 12 cm.

Aquestes diferències es deuen, principalment, a diferències geomètriques i de materials, ja que l'esquí fabricat industrialment amb el que s'ha assajat té un patí (amplada de l'esquí) significativament més baix i una sèrie de reforços disposats per evitar una sobre flexió i els quals no s'han pogut considerar en la simulació.

D'altra banda, s'ha comprovat que en tots els casos, la zona que més esforços suporta és la central (zona de la fixació), per tant queda justificat que el gruix variable sigui més gran en aquesta part de l'esquí.

	Simulació d'elements finits	Assaig de l'exemplar real	Assaig del prototip
Producte $E \cdot I$ ($N \cdot m^2$)	340.1481	391.9916	
Desplaçament màxim V (cm)	13.13	12	

8 PRESSUPOST

L'objectiu d'aquest apartat és presentar un cost total aproximat del projecte i tenir una idea aproximada de quan temps i diners s'han dedicat a les diferents parts d'aquest.

Dividirem aquest pressupost en dues parts, la part teòrica (part d'investigació) i la part pràctica (procés de fabricació, estudi elements finits i assajos al laboratori). El cost de la part teòrica serà aproximadament el que un enginyer podria cobrar en una empresa del sector per fer la investigació d'aquest projecte amb tots els costos inclosos, i la part pràctica serà el conjunt de costos que s'hagin tingut durant el procés de fabricació (tals com materials, eines, etc.), la simulació i els assajos.

Considerant que aquest projecte té un pes de 12 crèdits i que cada crèdit són aproximadament 25 hores de treball, el temps total invertit en aquest projecte és de 300 hores per persona, és a dir, un total de 600 hores, les quals repartirem en tot el projecte:

		Dedicació	Hores	€/hora	€
Part teòrica	Investigació	30%	180	25	4500
Part pràctica	Estudi elements finits	10%	60	30	1800
	Assajos al laboratori	10%	60	40	2400
	Fabricació prototip	50%	300	50	15000

A part, també s'ha de tenir en compte el preu de les llicències del SolidWorks i l'Ansys, que són 10000€ i 15000€ respectivament.

Apart del valor de la dedicació i les llicències, la fabricació del prototip ha tingut unes despeses en materials reals que es presenten tot seguit:

- Fustes nucli: 49€
- Fustes motlle: 34.13€
- Resina epoxy + catalitzador: 100€
- Impressions de plànols: 5€
- Coles i eines variades (pinzells, dissolvents,...): 62.03€
- Angles d'acer (per fer la gàbia): 48€
- Barres, cargols i femelles (gàbia): 58€
- Cintes adhesives, Super Glue, Porex: 29.19€
- Tall control numèric: 145€
- Fibres de vidre: 50€
- Cantells d'acer: 16€
- Base de polietilè: 40€
- Altres materials (topsheet, VDS, etc...): 25€

El qual suposa un total de 661.35€, sense tenir en compte totes les despeses intangibles tals com el transport (amb tot el que comporta: parkings, gasolina, etc.), a dividir entre els dos a parts iguals.

Tenint en compte que el nostre pressupost inicial era d'uns 400-500€ en total, ens hem vist obligats a invertir més diners dels que tenim previstos a causa de, principalment, la desconexió del mercat i de la manca de previsió en alguns aspectes, per exemple, si haguéssim fet un estudi de mercat abans, hauríem pogut trobar proveïdors amb millors preus.

Tot i així, a preu de mercat uns esquis de la nostra gamma estan aproximadament a la mateixa escala de preu.

9 IMPACTE AMBIENTAL

Com en tot el treball hem fet, aquest apartat també el dividirem en el procés industrial i el procés artesanal, ja que l'impacte mediambiental serà diferent segons la manera en que es fabriquin els esquis.

Industrialment parlant, l'impacte mediambiental és considerable (igual que en qualsevol gran indústria) ja que tan sols pel fet de posar en marxa tota la maquinària i totes les línies de treball ja suposa un consum energètic molt alt i conseqüentment, la contaminació del planeta.

Deixant de banda les contaminacions que pugui generar una gran indústria (tot i ser el principal contaminant), ens centrem en l'impacte ambiental que nosaltres haguem pogut generar durant el transcurs d'aquest projecte, i que va més relacionat amb l'impacte que els materials produeixen.

Els materials més contaminants d'un esquí són les fibres de vidre, la resina epoxy, el polietilè.

La fibra de vidre és un material altament contaminant i fins hi tot pot ser nociu per la salut. Tot i així en els últims anys ja s'ha trobat la manera de reciclar-lo. Una dada interessant és que actualment es tiren al rebuig 120.000 tones a l'any, de les quals 21.000 tones podran ser reciclades.

Tot i així, la fibra de vidre no és perillós pel medi que l'envolta directament (a menys que es sacsegi molt i desprengui petites fibres de vidre que puguin ser inhalades).

Per altra banda, un material altament nociu per la salut que és freqüentment usat en totes les indústries i és indispensable per la fabricació d'un esquí és la resina epoxy. El principal impacte que pot generar la resina és respecte a la salut dels qui la treballen: la inhalació o contacte amb la pell poden generar asmes i al·lèrgies.

Per altra banda, les resines i el polietilè acostumen a provenir de derivats del petroli o del gas natural, i l'extracció d'aquestes dues fonts d'energia és una de les indústries més contaminats de la naturalesa, i més si els sumes tot el transport cap a refineries i possibles accidents laborals que puguin vessar petroli o gas natural contaminant el planeta.

La fusta, tot i que no sigui un agent contaminant per si mateixa, pot implicar un gran impacte mediambiental pel que fa a la seva indústria en forma de pols, soroll i olors que s'originen en el processament de la fusta, poden ser eliminats si es duu a terme una bona elecció del lloc de treball, lluny de les zones amb alta densitat de població. Pel que fa a l'impacte cap a la natura, es pot esmentar que l'excés de tala d'arbres pot generar una desforestació dels boscs, per tant, els arbres han de ser tallats en el moment correcte del cicle de la vida per poder ser reemplaçats, i així aconseguim tenir boscs sostenibles.

























































































































































































































































































































































En conclusió, l'impacte ambiental de la producció a gran escala d'un producte serà sempre molt gran, en canvi, en un procés artesà, si es tenen en compte les corresponents mesures de seguretat (com portar elements de protecció tal com guants i màscara) i es reciclen els materials sobrants i la brossa, podem considerar que l'impacte serà relativament baix.

10 PLANIFICACIÓ

Comencem 21 de setembre

PERIODE RESSALTAT 20

 Duració del plà
  Inici real
  Real (fora del plà)

ACTIVITAT	INICI DEL PLÀ	DURACIÓ DEL PLÀ	INICI REAL	DURACIÓ REAL	SETMANA																							
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
Aprenentatge i investigació	1	5	2	18																								
Disseny motlle	2	2	2	3																								
Disseny planta	2	1	2	1																								
Disseny perfil	2	1	3	2																								
Disseny esquis	2	2	2	3																								
Disseny planta	2	1	2	1																								
Disseny perfil	2	1	3	2																								
Disseny procés de fabricació	4	2	4	2																								
Disseny premsa	5	1	5	1																								
Adquisició materials	2	8	5	15																								
Fabricació	6	8	6	14																								
Motlle	6	1	6	3																								
Premsa	8	1	9	2																								
Manguera	9	1	11	1																								
Nucli de fusta	10	2	12	3																								

11 CONCLUSIONS

Un cop finalitzat aquest treball, i prenent com a referència els objectius fixats a l'inici del mateix, s'han pogut extreure conclusions entorn als tres pilars del projecte: l'esquí com a esport, la fabricació artesanal i l'estudi comparatiu i simulació prèvia.

Estudi teòric del món de l'esquí (estat de l'art)

S'ha tingut l'oportunitat de posar a prova alguns dels coneixements adquirits durant el grau d'enginyeria en tecnologies industrials, entorn a matèries tan diverses com els sistemes de fabricació, la tecnologia de materials, la resistència de materials o el disseny gràfic. D'aquesta manera, s'ha pogut posar sobre el terreny els fonaments teòrics obtinguts durant aquesta formació.

D'altra banda, s'han ampliat els coneixements entorn un dels nostres esports favorits, no només sobre el gran ventall de disciplines que inclou sinó també, i sobretot, en relació a les característiques mecàniques i geomètriques dels esquís, així com sobre les tècniques que s'empren més habitualment per fabricar-los.

Resultats de l'estudi comparatiu

A la espera de realitzar el test del prototip es pot concloure que els resultats obtinguts a l'estudi d'elements finits del mateix són molt semblants als obtinguts en l'assaig real de l'esquí industrial. Així doncs, es pot concloure que tot i la gran varietat d'exemplars que es poden trobar en el mercat actual, tots ells ofereixen unes prestacions mecàniques mínimes, necessàries per a suportar les exigències a les que són sotmesos durant el descens. Això es deu a que, malgrat les diferents tècniques i mitjans emprats en la fabricació d'esquís, actualment, tots ells tenen una composició de materials idèntica en pràcticament la seva totalitat.

Fabricació artesanal i resultats del prototip final

Una de les principals raons de ser d'aquest projecte ha estat de bon principi, determinar si es possible obtenir un producte tant industrialitzat com l'esquí, mitjançant processos purament artesans.

Analitzant el resultat final del nostre prototip, és fàcil donar resposta a aquesta qüestió ja que, tot i que algunes especificacions no s'han pogut assolir amb el nivell de precisió desitjat, es pot afirmar que s'ha obtingut un prototip que compleix amb els requeriments funcionals de qualsevol esquí present al mercat actual. Val a dir que les variacions més importats que ha estat necessari realitzar, respecte a plantejament inicial, han estat en termes d'utilització de materials, degut al difícil accés a alguns d'aquests recursos, mentre que els àmbits de disseny i procediment de fabricació s'han pogut seguir de manera més estricta.

En aquesta línia, s'ha obtingut una primera experiència en la confecció d'artefactes mitjançant tècniques de construcció artesanals, amb la única assistència de programes de disseny gràfic (SolidWorks) i de simulació d'experiments mecànics (Ansys). Això ha permès familiaritzar-se amb els problemes, que no han estat pocs, que es poden presentar habitualment en aquest tipus de processos.

Tot i això, cal dir que no s'ha pogut complir en la seva totalitat amb l'objectiu de realitzar un procés 100% artesà, ja que, per raons de temps i recursos es va decidir usar una màquina de control

numèric per efectuar part de l'elaboració del nucli de l'esquí, una de les etapes més crítiques del procés.

Així doncs, tot i que s'ha procurat seguir les tècniques més habituals en la mesura del possible, els diversos problemes que ens hem trobat durant l'execució del procés, degut a la falta d'experiència i la poca disposició de recursos econòmics i de temps, ens han portat a fer diverses modificacions del guió establert inicialment.

En aquest sentit, podem concloure que qualsevol procés de fabricació d'un prototip d'aquest tipus comporta un nivell de planificació molt detallat i una gran inversió tant econòmica com de temps, però la seva execució suposa una ampla font de coneixements i una gran satisfacció alhora de gaudir del resultat.

12 BIBLIOGRAFIA

ORIGEN DE L'ESQUÍ

- <http://www.aramon.com/blog/aramon/origenes-esqui/>

CATEGORIES I MODALITATS

- <http://www.xports.es/esqui-modalidades/>
- <https://www.nevasport.com/material-blog/art/696/Diferentes-tipos-de-Esqui/>
- <https://www.estiber.com/blog/esqui-de-travesia-montana-elegir-esquis/>

CARACTERÍSTIQUES MECÀNIQUES I PARÀMETRES GEOMÈTRICS D'UN ESQUÍ

- http://www.esquiland.com/ES/Material_esqui/comportamiento-esqui.php
- <http://www.skireviewer.com/es/guia-para-comprar-esquis-skireviewer/tipos-de-esquis/esquis-race>
- <https://www.evo.com/guides/what-is-ski-snowboard-rocker-and-why-does-it-matter>

MATERIALS

- <https://www.backcountry.com/explore/ski-construction-explained#>
- http://www.store.skilab.com/index.php?main_page=page_3
- www.junksupply.com/shop/

EINES

- <http://tecnologiapiirineos.blogspot.com.es/2013/01/herramientas-clasificacion-de-las.html>

PROCÈS DE FABRICACIÓ

- http://www.esquiland.com/ES/Reportajes/fabricacion_esqui.php
- http://www.lcgaste.com/rocaya/index.php?mod=report&view=det_blog&detail=74
- <https://www.youtube.com/watch?v=ell349sdPgg&t=398s>
- https://www.youtube.com/watch?v=IRO_34DE5u0
- <https://www.youtube.com/watch?v=InfDaB-RmQ>
- <https://www.youtube.com/watch?v=5Il7iuy7MLk>
- https://www.youtube.com/watch?v=951Y_qPYy1g
- <http://www.communityskis.com/building-custom-skis.php>
- <http://www.junksupply.com/how-to-build/>
- <http://www.skibuilders.com/howto/>
- <http://www.lugaresdenieve.com/?q=es/reportaje/coretti-caracteristicas-esquis-artesanales-made-spain>

SISTEMA DE PREMSA

- <https://www.nevasport.com/telemark/art/9499/Esquis-artesanales/>
- http://www.lcgaste.com/rocaya/index.php?mod=report&view=det_blog&detail=70&i=d=fabricacion_casera_de_skis_i%3A_la_prensa

